林齢の異なる放置ヒノキ人工林における風致間伐の 伐採木選木に関する考察

Consideration about Selecting Felled Trees to Practice "Scenic Beauty Thinning" at Different Forest Age of Neglected Chamaecyparis Obtusa Forest Stands

清水 裕子* 川崎 圭造** 伊藤 精悟** 林 勝也***

Yuko SHIMIZU Keizou KAWASAKI Seigo ITOH Masaya HAYASHI

Abstract : We said, in the previous report, that scenic beauty thinning is more effective than ordinary thinning to transit Hinoki cypress from its mass artificial forest to the mixed forest. To do scenic beauty thinning, we have to recognize what kind of type the tree form belongs to but actually it is hard to recognize it properly and apply it because there was a big difference between individual judgments. Our purpose, in this report, is to investigate the individual species competition and tree form of untouched cypress artificial forest. And also we aimed to quantitatively consider the standard to choose trees for scenic beauty thinning in cypress artificial forest. We investigated the cypress artificial forest (some types of age) untouched for at least 30 years. As a result, there were not any factors (deciding tree forms) having a competitive influence on the individual trees and neighboring trees. Obviously there are not still competitive relationships between comparatively high-density massive trees and neighboring trees. It is hard to choose trees for scenic beauty thinning in cypress artificial forest. Therefore we found that the conventional method would have to be reconsidered.

Keywords: scenic beauty thinning, tree class, specific competition, Chamaecyparis obtusa forest stands

キーワード: 風致間伐, 樹形, 樹型級, 種内競争, ヒノキ人工林

1. 研究の背景

近年, 林業の低迷から森林が放置されているのに対して, 森林の多目的利用に対する関心が高まっている。中でも森林の保健・休養利用であるキャンプやエコツーリズムのようなアウトドア・レクリエーション利用や, 自然観察, 林間学校のような環境教育など, 現代の多様な価値観に伴った多様な需要が増加している。この多様な需要に対応できる, 魅力的で風致を感じる豊かな自然環境が成立した森林を創出する事は急務であるといえる⁴⁾。またこの事は, 都市の目が地方農山村に向かい, 地方農山村の森林への価値が上昇してきていることを意味する。地方農山村の方でも, 地域振興対策の切り札としてこのような利用を視野に入れた森林整備に対する関心は高い¹⁵⁾。

一方, 地方農山村の森林の現状はというと, 集落に近接した条件の良い立地にも拡大造林期に植林されたスギ・ヒノキ人工林が, 多くを占めている。しかし, これらの林地は林業の衰退や過疎化による林業労働者の激減が原因で手入れ不足のまま, 伐期を過ぎてもなお放置されている。人工林の放置は, 過密になった人工林では林木の生長の減退, これに伴う根系の発達不良による冠雪害や強風での倒木被害が増加, 被圧木や枯死木の放置による病害虫の発生, さらに, 林冠のうっ閉による林床植生の衰退やこれに伴う林床の裸地化が起因する表層土壌の流亡など, その問題は枚挙に暇がない。これらの林地の荒廃によって, その健全性や風致は著しく損なわれているといえる。

こうした森林もレクリエーション利用の立地条件の良さなどから生活環境保全林や森林公園などかなりの面積が編入されている。これらの森林も依然放置されている現状がある。その背景として, 前述した林業的な問題や過疎, 林地の経済性などの諸問題もあるが, 森林整備の技術の欠如, 整備した後の風致的評価がなされていない事が挙げられる。現在, 放置人工林のレクリエーション

利用を目的とした森林育成技術, すなわち森林風致技術の展開は急務であるといえる^{4), 15)}。

2. 研究の目的

手入れ不足の人工造林地に対する森林レクリエーションの目的と森林育成の技術に二つの目標が設定できる。

- 1) 多面的な森林機能を維持させながら自然的で多様であり, かつ利用者が風致を感じる, 保健レクリエーション目的を第一義とした森林構造を創出する。
- 2) さらに高齢林として育成することにより, 1)を達成しつつ木材を収穫する目的も二義的に考慮に入れる。

である。特に対象樹種がスギ・ヒノキである場合, 経済性が無視できない。放置され, 過密となった人工造林地では強間伐(本数間伐率 50%以上)が必要となるが, この間伐方法において前生樹の育成および天然更新を期待した針広混交の択伐林型を目標とし, 林木の育成を持続させることで上記の二つの目標を実現できるとされている。

前報で筆者らは, ヒノキの放置人工林を対象として上記の目標設定の施業上の条件を満たす方策として「風致間伐」を挙げ³⁾, その間伐効果について強度の間伐率(本数間伐率 60%)での通常間伐(下層間伐)と同等の間伐率を施した「風致間伐」との7年後の間伐効果を比較して考察した³⁾。その結果, 高木層の成長については両者の間に差異は生じなかったが, 林床の前生樹には一定の成果があり, 「風致間伐」を施した林分では間伐後の林木の平面配置により生じた小ギャップの働きで, 林床での高木類の幼稚樹の樹高の不斉化には通常間伐と比較して効果的であった。しかし, この間伐方法については同時に課題も生じた。それは伐採木選木の際に寺崎式樹型級区分に類似した樹形区分を行うが, この樹形区分は一斉林である人工林では微妙な差であり, その差

*岐阜大学連合大学院連合農学研究科 **信州大学 ***信州大学大学院

の区分は経験的で主観的なものである点で、規則的な方法としての確立は困難であったことである。

寺崎式樹型級区分は、主に樹冠形によって区分されるが、うっ閉が始まった林分では、隣接木の位置関係（競争関係）によって樹冠形が規定されるとしている¹⁰⁾。そこで本研究は、「風致間伐」の再現性や実行性を視野に入れ、ヒノキ放置人工林において個体レベルでの隣接木との競争関係と樹型（樹冠形）の関係を明らかにし、風致間伐選木基準¹⁷⁾を定量化した後、その間伐方法について定量的に考察することを目的とした。

3. 調査地概要および調査対象地

調査地は長野県南部に位置する上伊那郡飯島町の町有林と共有林のヒノキ人工林で、82年生の27林班（ハ小班）と53年生の14林班（ロ小班）、31年生の20林班（ハ小班）である。林齢は31年生の林分に関しては共有林の代表からの聞き取りにより、他の二つの林分に関しては森林簿によって調べた。以降は便宜的に80年生、50年生、30年生とする。50年生と80年生に関しては町の資料により、80年生に関しては以前ナスビ伐りを行ったということ、昭和48年以降、施業来歴は無く、30年生に関しては共有林の代表者からの聞き取りによって植栽数後に広葉樹の除伐後は無間伐のまま放置していた事がわかった。立木本数は30年生で1950本/ha、50年生は1150本/ha、80年生は700本/haで、施業林として考えればいずれも高密度といわれる林分である。森林簿によると、地位指数はいずれも2で、80年生が斜面方位は北東で傾斜約26°、50年生が斜面方位は北で傾斜約9°、30年生が斜面方位が東で傾斜約8°であった。林内はいずれも暗く、林床植生もいずれも乏しく、特に30年生のプロットでは、低木層さえまばらな状況で、わずかな草本層と上層木のみであった。

4. 調査方法

調査は2004年8月17日から9月13日の間に行った。レーザー測距計（LaserTechnology社製 Impulse）を用い、各林分に20m四方の調査プロットを設置し、それぞれについて下記の調査項目をおこなった。

(i) 毎木調査

胸高直径10cm以上の林木について、樹木位置、樹高、DBH、枝下高、樹冠幅、樹冠面積を測定した。測定は正確さを期す為に樹木位置、樹高、枝下高、に関しては前出のレーザー測距計にて測定し、DBHは輪尺にて測定し、樹冠幅も同様に巻尺にて8方位を測定した。樹冠面積は樹冠幅、樹木位置データを用い、CADソフト（A&A社 Vector Works）にてソフト内部言語（Vector Script）によってプログラミングし、樹冠投影図を作成した。この際、樹冠は8方位の点をベジェ曲線で結ぶ事によって描画し、パソコン画面上でそれらの面積を出した。

(ii) 階層構造調査および植生調査

階層構造調査はプロットの各樹高階層組毎に目視判断にて被度を測定した後、階層構造組毎に樹種を同定して植生調査を行った。

(iii) 樹冠開空度調査

各林内において1プロットに3箇所ずつ（図-1参照）、H=1.3mの位置で水平に固定された魚眼レンズ（Fisheye-Nikkor）を装着したカメラにより全天空写真の撮影を行った後、パソコン画面にて写真加工ソフト（Adobe社 Photoshop）により白黒二階調化し、開空部分の画素数の百分率から3箇所の平均値を開空度として算出した。¹⁶⁾

(iv) 分散構造

分散構造は毎木調査より前出のCADソフトにて樹木位置図を作成し、パソコン画面上でプロットの1辺を8分割し、分布様式

をMorishitaのIδ指数で算出し、調べた^{6), 19)}。

(v) 競争指数

立木間の競争状態をHegyiの競争指数を用いて表した¹²⁾。競争指数については林内の立木間の競合を考慮した研究は多くなされているが、その中でも個体サイズに距離情報を組み込んだ競争指数の有効性が報告されていることから¹⁴⁾、本報では競争指数に、隣接木のDBHと個体間距離を計算式に包含したHegyiの競争指数を用いた²²⁾。

5. 結果

表-1に各プロットの概況を示した。各プロットはその林齢と1ha当りの成立本数から、長野県の木曾地方のヒノキ施業指針¹³⁾に照らし合わせた場合、いずれのプロットにおいても高密度と判断

表-1 各プロットの概況

林齢	成立本数(本/ha)	DBH(cm)	樹高(m)	枝下高(m)
30	1950本/ha	19.6±4.89	15.61±1.4	8.61±1.19
50	1180本/ha	24.42±8.1	17.3±1.79	8.35±1.3
80	700本/ha	29.82±6.9	21.38±1.3	8.59±1.56

林齢	樹冠長率(%)	樹冠面積(㎡)	相対幹距比	形状比
30	44.41±8.75	5.43±3.09	15.31	0.80
50	51.25±9.15	11.57±6.42	17.05	0.71
80	59.76±7.48	20.63±8.43	19.94	0.72

図中●は樹冠開空度の撮影地点を表す。

図-1 各プロットの樹冠投影図

される密度であることが明らかになった。また、相対幹距比^{11) 21)} に関しても、30 年生で超過密、50 年生で過密、80 年生で高密と判断される値をとり、成立本数、相対幹距比からすべてのプロットにおいて施業林としては高密な状態であることが示された。しかし一方、樹冠長率¹⁸⁾ は約 45%~60%でそれほど値は小さくなく、形状比もいずれも 0.7 から 0.8 であった⁵⁾。

樹高、DBH、樹冠面積に関しては 30 年生、50 年生、80 年生の順で値は大きくなった。その値のばらつきは DBH、樹冠面積で 30 年生、50 年生、80 年生の順に大きくなったが、樹高に関しては 80 年生では、樹高のばらつきは他の二つのプロットよりも小さい値が得られた。また、このプロットの樹高は表より 21.83 ± 1.3m であったが、長野県の 80 年生のヒノキ樹高曲線¹³⁾ によるとこのプロットの地位 2 では樹高の上限が 23m であり、このプロットはこの上限値に近い値に達していることが示された。

図-1 に各プロットの樹幹投影図を示した。図より、3 つのプロットでそれぞれの立木配置に相違があることが明らかになった。特に 80 年生では樹冠面積に大小のばらつきがあり、かつ林木が小群状になって配置していた。

図-2 は各プロットの DBH10cm 以上の林木の平面空間分布を Morishita の $I\delta$ を用いて、調べたものである。30 年生ではランダム分布、50 年生では一様分布に近いランダム分布を呈した。一方、80 年生に関しては、コードラートサイズ 1/8~1/2 で集中分布を呈し、 $I\delta(s)/I\delta(2s)$ によって集中斑の大きさはプロット面積の 1/8~1/2 であることが明らかになった。

図-3 に DBH と樹高の関係を表した。80 年生は樹高が 21~22m 付近に集中し、DBH と樹高の相関が低かった (r^2

▲は F 検定により 1 から有意に差があるもの。

図-2 各プロットの分散構造図

図-3 各プロットの胸高直径と樹高の関係

= 0.21) のに対し、30 年生、50 年生では DBH と樹高の相関が $r^2=0.53$, $r^2=0.51$ であり、80 年生と比較して高かった。

図-4 は相対幹距比と樹冠開空度の関係を示した。相対幹距比とは林地の相対的な込み合いを示す指標で、成立本数と樹高から導かれ、値が小さいほど込み合っているとされる²¹⁾。相対幹距比の値が超高密に該当する 30 年生では樹冠開空度は低く、 10.75 ± 0.38 であり、他の二つのプロットと比較し、かなり低かった。一方、50 年生、80 年生においても、それぞれ 19.03 ± 0.38 , 18.97 ± 1.36 と一般的な値よりも低かった。また、80 年生では他の二つのプロットよりも樹冠開空度の値のばらつきが大きかった。

図-5 に森林階層構造図を表した。30 年生では高木層は 12~19m でヒノキがほとんどを占め、わずかにクリとウワミズザクラが数本存在し、被度は 95%、亜高木層では 9~11m でヒノキ、クリ、ウワミズザクラが見られ、被度 15% であった。低木層 1~3m、草本層 50cm~1m、地衣類 0~50cm で、低木層ではヤマツツジ、マルバアオダモ、草本層ではヤマツツジの他に、マルバアオダモの稚樹、ツルマサキがみられ、地衣類はわずかにシダ類が見られたが、すべてにおいて被度は 5% 程度であった。

50 年生では高木層は 12m~21m でヒノキに数本のサワラが存在し、被度は 90%、亜高木層 3m~5m でヒノキのほかにクリ、ウワミズザクラが見られ被度 20%、低木層は 1m~3m でマルバアオダモ、ヤマツツジがほとんどで被度 70%、草本層は 50cm~1m でヤマウルシが優占し、他にマルバアオダモ、ツルマサキが見られ、被度は 50%、地衣類 0~50cm でシダ類のほかにコケ類などで被度 70% を占めていた。また 80 年生では 16m~24m で高木層はすべてヒノキで被度 85%、亜高木層は 5m~6m でリュウブ、マルバアオダモ、イチイなどが被度 10% を占めた。低木層は 1m~5m で被度 50%、草本層は 50cm~1m で被度 50% であった。低木層と草本層の構成種は類似し、ホツツジ、バイカツツジ、などのツツジ類が多く、他にコミネカエデ、ヒトツバカエデ、コアジサイ、ノリウツギなどで構成されていた。地衣類は 0~50cm でシダ類、コケ類などが見られ、被度は 35% であった。図からも示されるように、すべてのプロットで程度の差はあるが、高木層が圧倒的な被度を有し、下層の種構成には高木類が少なく、貧弱な下層植生といえた。

図-6 は算出した Hegyi の競争指数と DBH、樹冠形を規定する樹冠長、樹冠面積との関係図を示した。樹冠幅と樹冠面積は当然ながら高い相関を呈したので ($r^2=0.96$) ここでは樹冠面積のみを取り上げた。図より 50 年生と 80 年生では競争関係は樹形

図-4 各プロットの相対幹距比と樹冠開空度の関係

図-5 各プロットの森林階層構造図

図-6 各プロットの競争指数と樹形因子との関係

を規定するどの因子とも相関関係がないこと ($r^2=0.18$ 以下) が示された。さらに 30 年生では DBH で低い相関を示したに過ぎず ($r^2=0.45$)、その他の因子については競争関係は樹形を規定するどの因子とも相関関係がないこと ($r^2=0.12$ 以下) が明らかになった。

6. 考察

通常、生活環境保安林や森林公園での森林整備における間伐時期の指標は施業林と同様に設定し、林齢に対応する成立本数や相対幹距比、形状比などを目安とする。このような視点で検討した場合、3 プロットとも以上の全ての点において、特に 80 年生のプロットにおいては樹高因子から鑑みて林木にとっての土地生産力が限界に達しつつある点からも、要間伐林とみなされた。一方、全てのプロットで形状比はそれほど高くなく、通常冠雪害などに対して危険といわれている 90~100 には達していない。さらに樹冠長率もおおよそ 50%前後で比較的高く、一般的にイメージする線香林とは異なる様相がうかがえた。

立木配置に関しては分散構造より、30 年生ではランダム分布、

50 年生では一様分布に近いランダム分布を呈した。これはスギ・ヒノキ人工林に対して行われた既存の報告とほぼ類似した結果であり¹⁴⁾、調査地が人工造林地であることから当然の結果といえた。一方、80 年では集中分布が見られたが、聞き取り調査により過去にサイズの大きな個体を抜き切りしたことによって林冠ギャップが生じ、同時に残存木によっていくつかのサイズの異なる集中分布を呈したと考えられた。これらの立木配置は、樹冠の大きさのばらつきにも影響し、林冠の疎開部とうっ閉部での樹冠面積のばらつきがほかの二つのプロットと比較して大きくなったと考えられた。

DBH と樹高の関係では、80 年生は DBH と樹高の相関が低かった。これは平均値付近に樹高が集中したこと起因した。樹高因子は土地の生産力に影響されることは良く知られているが⁵⁾、地位に対してもこのプロットの平均値が上限値に近い樹高であったことから、このプロットでは林木はすでにこの土地の生産力に成立しうる上限近くまで達しつつあることが示された。また、DBH の値にはばらつきが見られたが、これは前出の林木配置から、林木の相対的な分布のばらつきに即応して DBH の大きさに

ばらつきを生じたと考えられた。これに対して 30 年生、50 年生に関しては DBH と樹高の相関が 80 年生と比較して高く、DBH と樹高共にばらつきも大きい。樹高因子、という視点で検討した場合、両プロットでは 80 年生と比較して地位と林齢に対する樹高曲線の上限值に対してまだ余裕があり、土地生産力にまだ余力があると考えられた。DBH の結果と共に鑑みれば、両プロットでは土地生産力の上限に向かい、個々の林木の個体サイズ等に即応した生長をしている状態であると考えられた。

このように林齢、成立本数、立木配置やそれに伴う成長の状態の異なる 3 つのプロットでの競争指数と、各樹型、樹冠形成因子の間には相関関係はいずれも無く、わずかに 30 年生の競争指数と DBH の関係で見られたのみであった。樹冠形の変化は、対象木の枝が隣接木との枝同士の光獲得競争に敗れ、枝の生産量の収支が減じる、もしくはマイナスになることによってシュートの伸びが停滞し、枝が落ちる事によって生じるといわれている⁹⁾。この関係は枝単位からやがて、林木の個体単位で被圧する側とされる側という関係が成立する。この点で、林木相互の競争状態が DBH と相関のない 50 年生と 80 年生は、同化器官である葉が隣接木との競争の影響を受けていない事を表していると考えられた。30 年生に関しては低いながらも相関関係が見られることから、隣接木との競争状態は弱いながらも生じ始めていると考えられたが、競争は樹冠形、換言すれば枝同士の競争関係として未だ顕在化していなかった。以上のことは、すべてのプロットにおける形状比の低さや樹冠長率の高さなどからも考え得る結果であった。ヒノキが他の樹種と比較して耐陰性が強く、照度のかんりの低下にも生存できることによって、競争が個体内で相対的に激しいと思われる下部の枝でさえも低い呼吸量でも生命を維持できることから、被圧され始めてから落枝までに至る時間が長いことがこのような結果を生じさせた要因だと考えられた。

以上より、通常の施業林の指針に照らし合わせた場合、高密度なプロットであるため、要間伐林として位置付けられた全てのプロットは、ヒノキの生態的な状態として検討した場合、現段階の成立本数ではヒノキにとって高密度とはいえず、高密度な状態故に上層木の健全性が損なわれているということは結果として導き出せなかった。このような結果のくい違いは、ヒノキ人工林の施業指針が歴史的に吉野杉林業の施業体系を踏襲したものであって、間伐などの施業指針が生態的な視点よりも林業経営的な視点から体系立てられたことに起因すると推察された²⁾。

樹冠開度と相対幹距比との関係は、30 年生では他の二つのプロットと比較して相対幹距比が低く、樹幹開度もそれに伴って低かった。一方、50 年生と 80 年生での相対幹距比は 17.05 と 19.95 で、値の違いがあったのにもかかわらず、樹冠開度の平均値は近かった。これは 80 年生の値には 50 年生には見られないばらつきがみられ、立木の平面配置の違いによって生じうっ閉部と疎開部での値のばらつきによる結果であると推察された。それぞれのプロット間で樹冠開度に相違はあるものの、すべてのプロットで 20% 以下であり、かなり低い値と考えられた。

ヒノキの放置人工林の大きな問題点のひとつに、林冠の過度のうっ閉のため、林内照度が減少し、林床植生の消失が挙げられる。

このことは林地の次代の主木となる林木の育成、すなわち森林の恒続性の確保を困難なものにし、さらにうっ閉期間が延長された場合、林床の裸地化を促し、土壌の侵食など林地の健全性に重篤な影響を及ぼすことは必至である^{1),5),7)}。本調査でも全てのプロットの林床部の植生は貧困であり、これは長い期間の放置による上層木のうっ閉によるものだと考えられた。30 年生では樹冠開度は低く林床全体が樹冠によりうっ閉され、林床植生の被度は他の二つのプロットと比較して低かった。特に次代に高木層を構成すると期待される亜高木層での個体数は数本にとどまり、さらに

低木層以下で構成された階層では被度はわずか 5% でしかなかった。

また、50 年生、80 年生は 30 年生と比較して林床の被度は高く、亜高木層も存在していたが、構成種は中低木類の個体によって占められ、次代の高木類の個体数は少なかった。さらに樹冠開度はいずれも低く、今後の放置によって林床はさらに衰退することが考えられたことから、林床植生に関してはいずれのプロットにおいてもこれ以上の放置は林地の健全性と森林の恒続という観点から重篤な弊害をもたらすことが示された。

全プロットにおいて、慣例的に間伐遅れとみなされた林分であったが、上層木についてはヒノキという樹種にとっては競争関係の激化、また関係そのものが確認できず、現段階では 50 年生、80 年生では樹形や樹冠形の違いは個々の林木の自己サイズに依存したものであることが示された。30 年生についてはヒノキの樹種特性により、競争は樹形に反映しない程度であったことが示され、相当高密度である本調査対象地においてさえ、樹型級の判定を用いた選木方法は困難である事が明らかになった。一方、林床に関してはその健全性や次代の主木の確保という観点から、強度の間伐による下層植生誘導が急がれる事が考察された。以上より、一般的に高密度もしくは超高密度で間伐遅れといわれるヒノキ林に関し、上層木の育成よりも下層植生の誘導を優先するべきであるということが考察された。

前報で筆者らは「風致間伐」によって断続的に創出された林冠ギャップによって、同じ本数の通常間伐よりも下層植生導入が効率的であって、森林の恒続という点においても将来の見通しが相対的に明るいということを報告した。これらの調査結果より、ヒノキ人工林においては「風致間伐」の定義を損なわず、複雑な樹型級に頼らない別の容易な選木方法にて適切な林冠ギャップを作り出す必要があると考えられた。

本報で得られた結果から、ヒノキ林の当面の問題として上層木の保育よりも、早期の下層植生導入が必須である。これは林地の中でも選木しやすい存在である優勢木、つまりサイズの大きな林木を伐採することで少ない伐採本数で効率的に、断続的な小ギャップが開けることによって達成できると考えられた。これに加えて、大きな個体から伐採することは上層間伐であり、これは主伐以前の中間段階での収益を見込めることによって、森林の風致と木材収穫を一元的に行える針広混交の択伐林型を目指す、ヒノキ人工林林相転換の第一段階の「風致間伐」と考察された。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、CAD ソフト内部言語にてプログラミングをして下さった、長野県上伊那地方事務所林務課森林路網係の斎五澤貴史氏には多大なるご助力をいただきました。また、飯島町役場産業振興課の皆様には調査地を探していただきました。さらには同町共有林の代表者の方々にも調査を快諾していただきました。また、信州大学農学部造園学研究室の横矢美和氏、鈴木尚氏、米田裕征氏、さらに同大学緑地生態学研究室の水野敦氏、木材利用学研究室の碓井伸幸氏、システム環境コンサルタント株式会社の佐々木通子氏には酷暑の中、調査を手伝っていただきました。皆様にはこの場を借りして厚く御礼を申し上げます。

補注及び引用文献

- 1) 赤井龍男 (1998) : 低コストな合自然的林業 : 全国林業改良普及協会, 143pp
- 2) 飯田繁 (1975) : 造林—その歴史と現状— : 日本林業調査会, 129pp
- 3) 伊藤精悟・馬場多久男 (1989) : 人工林の風致間伐のための残存木と伐採木の選定に関する考察 : 造園雑誌 52, 199-204

- 4) 大永貴規 (1986) : 森林のレクリエーション利用の新しい展開に向けて: 森林組合 198, 8-12
- 5) 川名明・片岡寛純・角張嘉孝ほか (1992) : 造林学: 朝倉書店, 200pp
- 6) 小林四郎 (1999) : 生物群集の多変量解析: 青樹書房: 26-37
- 7) 四手井綱英・赤井龍男・斉藤秀樹・河原輝彦 (1974) : ヒノキ林—その生態と天然更新—: 地球社, 375pp
- 8) 清水裕子・川崎圭造・伊藤精悟 (2003) : 人工林の風致間伐による林相変換の可能性: ランドスケープ研究 66(5), 517-520
- 9) 竹中明夫 (1997) : 植物は形で勝負する—光資源獲得のための「形」—: 科学 67(8), 616-623
- 10) 寺崎渡 (1928) : 間伐法要綱: 大日本山林会, 239pp
- 11) 原田文夫 (1983) : 信州のからまつ: 107~133: リンケイ新聞出版局
- 12) HEGYI, F. (1974) : A simulation model for managing jack-pine standssimulation: Royal Coll. For, Res. Notes30, stockholm, 74-90
- 13) 本田静六 (1968) : 森林家必携: 林野弘済会, 731pp
- 14) 宮本麻子・天野正博 (2002) : 立木の空間分布および生育条
- 15) 山下隆之祐 (1986) : 森林レクリエーションと森林組合: 森林組合 198, 5-8
- 16) 早稲田収 (1983) : 人工林の複層林施業に関する研究 (I) 光環境の測定方法—開空度の測定とその光環境示標としての応用—: 林業試験場研究報告 323, 9-13
- 17) 風致間伐の伐採木の選定基準は, 風致的見地に立って保残する主立木を決め, その主立木に対する競争関係から (位置関係や, サイズの大きさ, 樹形等から) 隣接木・周辺木を, 当分の間主立木の成長に支障をきたす心配のない立木を主立木に従った木として従立木とし, 次世代の主立木として期待される木を次主立木, 将来的に種内, 種間競争に破れての枯死を予測して今は残して置く木を暫立木と位置づけ, それ以外の立木を伐採木として選定した。主立木を第一級木, 次主立木, 暫立木を第三級木, 従立木を第二級木に置き換えた場合, 主立木が風致的な視点によって選木される事以外は寺崎式樹形級区分と類似している。
- 18) 樹冠長とは樹冠の垂直的な長さであり, 樹高から枝下高を差し引いたものを言う。また, 樹冠長率とは樹高に対する鉛直方向の樹冠長の割合 ((樹高-枝下帯)・樹高・100) である。
- 19) 本研究では分布様式の判定法として下記の式を用いて Morishita の $I\delta$ 指数で判定した¹⁰⁾。

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

$$N = \text{総個体数} \quad q = \text{方形区の数}$$

$$ni = I \text{ 番目の方形区内の個体数}$$
 $I\delta$ の値はランダム分布の時は 1, 集中分布の時は $1 > I\delta$ となり, 一様分布のときは $1 < I\delta$ となる。
- 20) 本論での「風致間伐」は伊藤³⁾が行ったものを指す。この間伐方法は, 間伐後の残存木の径級分布はザリッシュ (V. Salish) のポステル間伐法に類似し, 林木配置は群状保残の形態をとる。この方法によって, 森林を択伐林型へ導く事を目標とし, これはメーラーの恒続林思想の森林美と経済の一元化を目指すとされている。
- 21) 相対幹距比とは, 林木の平均樹幹距離 (平均幹距) と林分の上層木の平均樹高との比であり, 林分密度の尺度として用いられ, 略語として Sr が使用される。相対幹距比は以下の計算によって求められる。

$$Sr = \{(F/N)^{1/2} / H\} \times 100$$
 F : 単位面積 (m^2), N : 単位面積あたりの本数 (本), H : 樹高 (m)
 以上の式によって求められた値にはランク付けされる。
 Sr 19~22 で低密, 17~19 で高密, 16~17 までは過密, 16 以下は超過密となり, 値が低いほど過密であるといえる。
- 22) 本来ならば対象木を中心とする半径 3.05m 以内の樹木を競争木として算出するが, 本論では対象木に樹冠が隣接する距離の近い順から 5 本抽出し, 計算した。また, 林縁木, ヒノキ以外の樹木は除外した。