

間伐が樹冠の安定性に及ぼす影響の予測

著者	水永 博己
雑誌名	鹿児島大学農学部學術報告=Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University
巻	48
ページ	23-30
別言語のタイトル	Simulation of the Thinning Effects on the Stability of Crowns
URL	http://hdl.handle.net/10232/1551

間伐が樹冠の安定性に及ぼす影響の予測

水永 博己

(育林学研究室)

平成9年8月10日 受理

Simulation of the Thinning Effects on the Stability of Crowns

Hiromi MIZUNAGA

(Laboratory of Silviculture)

結 言

樹冠の構造は林木の幹の成長^{9), 19)}や林床の光環境^{7), 11)}に大きい影響を及ぼすだけでなく、冠雪害あるいは台風被害の発生にも密接な関係があることが知られている。

中谷らは¹⁸⁾冠雪害発生における力学的解析を行い、樹冠の重心の偏倚量(樹冠の重心位置の幹軸からの水平的ズレ)と荷重の重心高が冠雪害発生の重要な因子となりうることを指摘した。現実林分においても、樹冠の偏倚量と冠雪害の発生率に正の関係がみられることが報告されている¹⁹⁾。

台風被害と樹冠構造の関係について調べられた例は少ないが、荒木²⁾は樹冠の安定性に欠けた林分で台風被害が多いことを指摘した。またChiba³⁾は樹冠の重心高を変数として台風被害発生の力学的解析を行った。このように、冠雪害や風害を考えるうえで樹冠の重心の位置は重要な意味を持っている。このため育林施業を行う場合、樹冠の量だけでなく安定性に及ぼす影響についても把握する必要がある。

間伐は樹冠の調節作業であると位置づけられており⁵⁾、間伐と樹冠構造の関係について調べられた例は多い^{10), 12)}。しかし、これらの研究はすべて樹冠の量を対象に進められており、樹冠の安定性に注目した研究はない。著者は間伐後の林冠動態に注目して、間伐ギャップの変化¹⁴⁾、着葉重量及び幹材積成長量¹⁵⁾、林床の光環境¹⁶⁾を予測する林冠動態モデルを作成した。

この林冠動態モデルを用いて、間伐方法の違いが樹冠の安定性に及ぼす影響を知るために、コンピュー

タ内で間伐実験を行った。

材 料 と 方 法

1. 林分と間伐案

モデルによる間伐実験は既報¹⁴⁾の岡山県苫田郡鏡野町のスギ23年生林分で行った。既報の調査地中央部に24m×24mの間伐区を設定して、間伐区内の個体の胸高直径、根元座標値、樹高、生枝下高のデータを間伐実験に用いた。間伐区内の個体位置と個体データをコンピュータのディスプレイ上に表示して、間伐木の選木を行い、次に示す16種類の間伐案を設計した。

間伐木の空間配置をFig. 1に示す。個体の空間配置に配慮しながら、間伐案1~4は大きい胸高直径の個体から、間伐案9~12は小さい胸高直径の個体から、間伐案5~8は胸高直径に関係なく間伐木を選んだ。この際、間伐木が特定の場所に集中しないように配慮した。また間伐案13~16は等高線に垂直に列状に間伐木を選んだ。間伐木と残存木の胸高直径の比率は間伐案1~4で1より大きく、間伐案9~12で1より小さく、間伐案5~8及び間伐案13~16でほぼ1に等しかった(Table 1)。そこで、間伐案1~4を上層間伐、間伐案5~8を全層間伐、間伐案9~12を下層間伐、間伐案13~16を列状間伐と区分し、この区分を間伐種と呼ぶことにする。

間伐種ごとに間伐区内の胸高断面積間伐率がほぼ10%、20%、30%、40%の4段階になるように設定した(Table 1)。間伐区の境界付近にある個体の実際の樹冠形状は間伐区の外側の個体の影響を受けるため、間伐区内の毎木調査データのみからこれらの個体の樹冠形状を正しく推定することはできない。

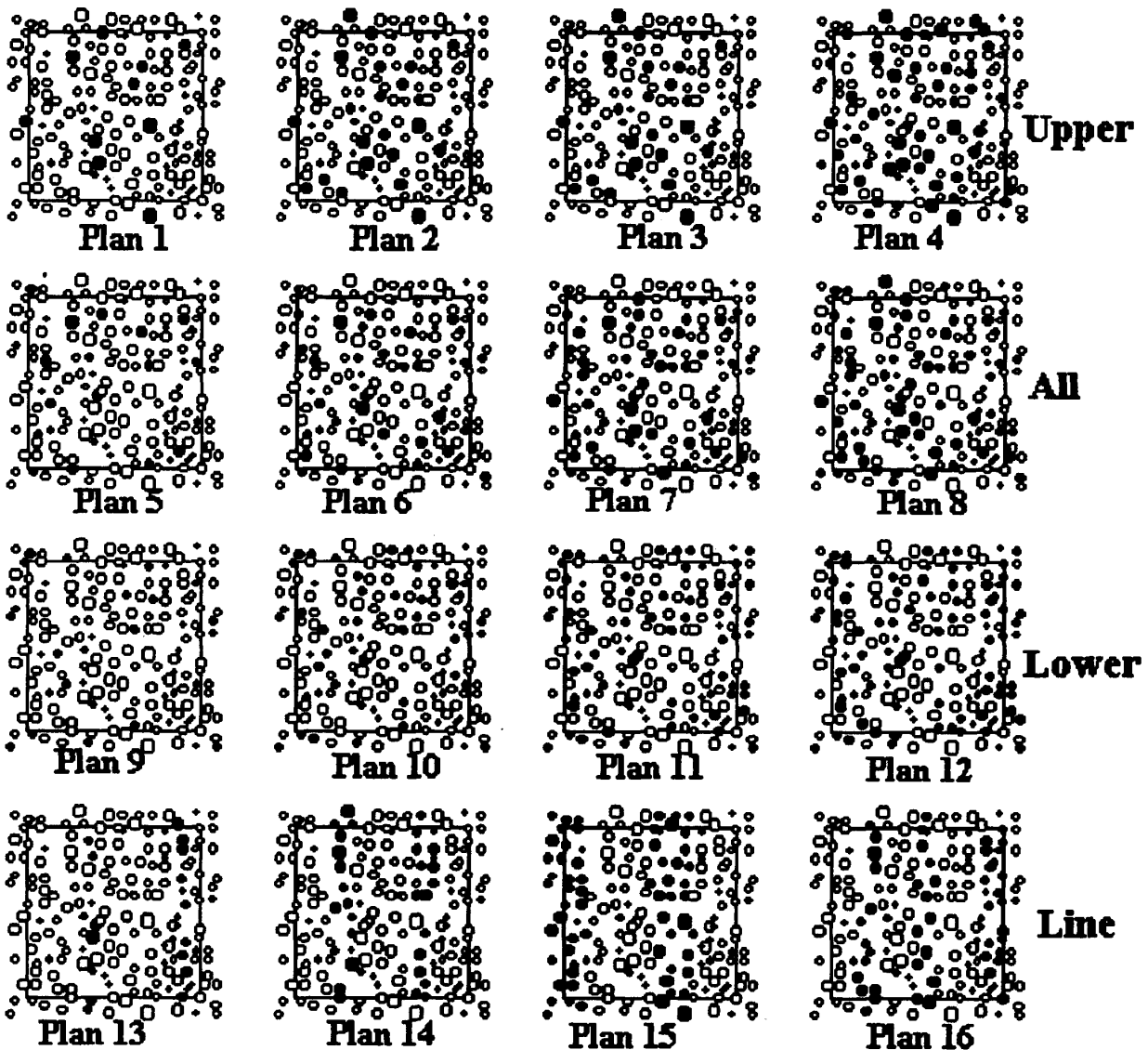


Fig. 1. Location of thinned trees.

Legend; Black and white circles indicate the thinned and the remained trees, respectively. Lines indicate sub-plot (20m×20m) for analysis.

そこで間伐区の境界付近の個体を解析から除くために、間伐区の中央に20m×20mの解析用のサブプロット (Fig. 1) を設けて、サブプロット内の個体を解析の対象とした。サブプロット内の胸高断面積間伐率は間伐区の胸高断面積間伐率と異なった (Table 1) ため、間伐強度の基準としてサブプロット内の胸高断面積間伐率を用いて表示することとした。

また、比較のため間伐案0として間伐を全く行わない無間伐案を設定した。

2. 計算方法

既報^{14), 15)}の計算方法に準じて、間伐案ごとに間伐後の林冠表面形状の変化および林内の着葉分布を

シミュレートした。ただし既報の場合、個体を計算の基本単位としたが、本論文の場合は間伐区をタテ、ヨコ0.2mで高さ0.1mの直方体メッシュに区切り、メッシュを計算の基本単位としてシミュレーションを行った。

ここでメッシュの中心座標を (x, y, z) とする。仮に個体 i の樹冠表面が (x, y, p_i') を通過すると仮定したとき、

$$p_i' = H_i + Z_i - a\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (1)$$

(X_i, Y_i, Z_i) : 個体 i の根元座標; H_i : 個体 i の樹高 (m); a, b : 個体 i の陽樹冠形状を示すパラメータ¹⁴⁾

Table 1. Descriptions of thinning plan

Thinning plan	Thinning system	Thinning ratio % (Basal area)		Dbh (T)* Dbh (R)
		24m×24m Plot	20m×20m Sub-plot	
Plan 0	No	0.0	0.0	—
Plan 1	Upper	10.5	11.2	1.40
Plan 2		20.3	23.5	1.36
Plan 3		30.2	31.2	1.36
Plan 4		40.3	41.4	1.35
Plan 5	All	10.8	14.0	1.04
Plan 6		20.3	25.4	1.02
Plan 7		30.1	35.6	1.04
Plan 8		40.0	43.9	1.04
Plan 9	Lower	10.5	9.0	0.60
Plan 10		20.1	19.7	0.66
Plan 11		30.1	30.0	0.69
Plan 12		40.3	42.0	0.70
Plan 13	Line	9.8	10.9	0.89
Plan 14		20.3	25.1	1.04
Plan 15		39.9	35.6	1.02
Plan 16		30.4	39.1	1.04

*Dbh (T) and Dbh (R) are average Dbh of the thinned trees and the remained trees, respectively.

$$pi \geq Hbi + Zi + \tan \theta \sqrt{(Xi - x)^2 + (Yi - y)^2} \quad (2) \quad \text{ただし, } p + \frac{\gamma}{\beta} \leq z \leq p \quad (3)$$

θ : 最下部の枝の水平線に対する角度 ; Hbi : 個体 i の枝下高 (m) の関係を満足する必要がある。

プロット内の個体の pi の最大値を p とすると、林冠表面は (x, y, p) を通過する。また最大値を示した個体が $0 < z < p$ の範囲の (x, y, z) のメッシュを占有すると考えた。ただし、全ての個体で(1), (2)式を満足する個体が無い場合、 (x, y, z) の鉛直方向に位置するメッシュを占める個体はなく、ギャップであることを意味する。こうしてシミュレーション開始年の林冠表面の形状を決定した。

シミュレーション2年目以降の個体の樹高成長量は平均0.5m/yrs, 標準偏差0.1m/yrsの正規型乱数で与えた。さらにシミュレーション2年目以降の陽樹冠基底部の高さは間伐によって隣接個体を取り除かれても前年に計算された陽樹冠基底部の高さより低くならないものと仮定した¹⁴⁾。

各メッシュの葉重量密度は既報¹⁵⁾により次の式で計算できる。

$$fdd(x,y,z) = (\gamma + \beta(p-z))^{\gamma-1} \exp(\kappa - a((Xi-x)^2 + (Yi-y)^2) + \beta(p-z))$$

$fdd(x,y,z)$: メッシュの着葉重量密度 ($g \cdot m^{-3}$) ;
 $\alpha, \beta, \gamma, \kappa$: 着葉分布関数のパラメータ ; Xi, Yi : メッシュを占有する個体の XY 座標値

ここでパラメータは岡山県林業試験場構内のスギ23年生林分内の4個体¹⁵⁾を伐採して求めた次の値を用いた。

$$\kappa = 0.9, \alpha = 2/R, \beta = -0.23, \gamma = 1.46$$

R : 陽樹冠基底半径

樹冠の安定性は樹冠の重心の幹軸からの偏倚量と地面からの高さで表すことができる¹⁸⁾。ここでは樹冠の主な構成要素である着葉の重心位置を用いて樹冠の安定性を調べることにした。個体の葉重量 Fw はその個体が占有するメッシュの葉重量を合計して求めた。また個体の全着葉重量の重心(以下、単に重心と呼ぶ)の地面からの高さ Vg , 重心の幹軸からの偏倚量 E (Fig. 2) はメッシュと地面あるいは幹軸からの相対的な位置とメッシュの葉重量密度から計算した。

なお、シミュレーション期間はシミュレーション開始後5年間とし、その期間内の変化量を求めた。すなわちシミュレーション開始年と5年目のそれぞれ

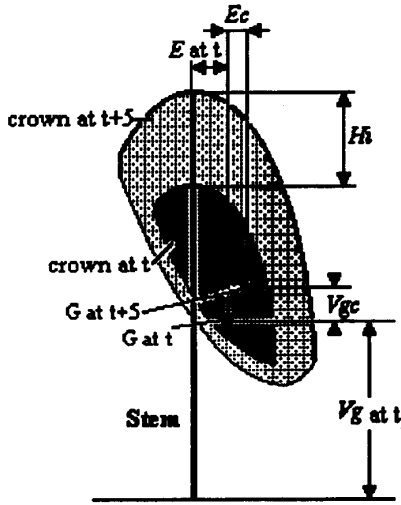


Fig. 2. Diagram of stability of a crown.
 Note; G : Center of gravity of a tree's foliage, V_g : Height of G from ground, E : Eccentricity of a tree's foliage from stem axis, H_h : Height increment of a tree during 5 years, V_{gc} : Change of V_g during 5 years, E_c : Change of E during 5 years.

これらの値を計算し、5年間の変化量を F_{wc} , V_{gc} , E_c とした (Fig. 2)。また一つの間伐案あたり5回づつシミュレーションを繰り返した。

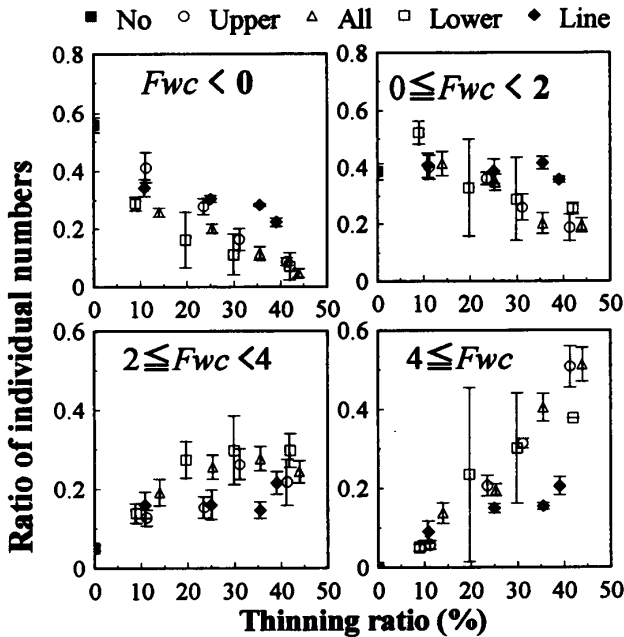


Fig. 3. Relationships between relative frequency of F_{wc} and thinning ratio.
 Legend; Bars indicate that confidence intervals at confidence coefficient is 0.95.

間伐実験結果および考察

間伐後5年間の葉重量の変化量 F_{wc} ごとの個体数割合を Fig. 3に示した。

F_{wc} が0未満の個体は、他個体の樹冠によって被圧が進行し葉重量が減少した個体と考えられる。このような被圧が進行した個体は無間伐において全個体の50%以上を占めた。被圧進行個体の割合は全ての間伐種において間伐率が大きくなるにしたがい減少し、間伐によって被圧の進行が抑制されることを示した。各間伐種の間伐率増加に伴う $F_{wc} < 0$ の個体数割合の減少程度は、間伐種ごとの被圧進行の抑制効果を示すと考えられる。列状間伐の場合、間伐による被圧進行の抑制効果は小さかった。列状間伐を除くと上層間伐の被圧進行の抑制効果は下層間伐あるいは全層間伐に比較して小さかった。上層間伐の場合、大きい個体を中心に間伐するので、間伐ギャップ一つあたりの大きさは大きいですが、少数しか生じない。このためギャップと隣接する個体が少なく、被圧が進行する個体が多かったものとする。しかし、間伐率が40%前後と大きくなると、下層間伐、全層間伐、上層間伐のあいだで大きな違いは見られなかった。間伐率が大きい場合間伐ギャップが複数の個体により構成される場合が増えるため、間伐木のサイズの違いによる影響が小さくなったのであろう。

F_{wc} が4以上の個体は無間伐の場合見られなかつ

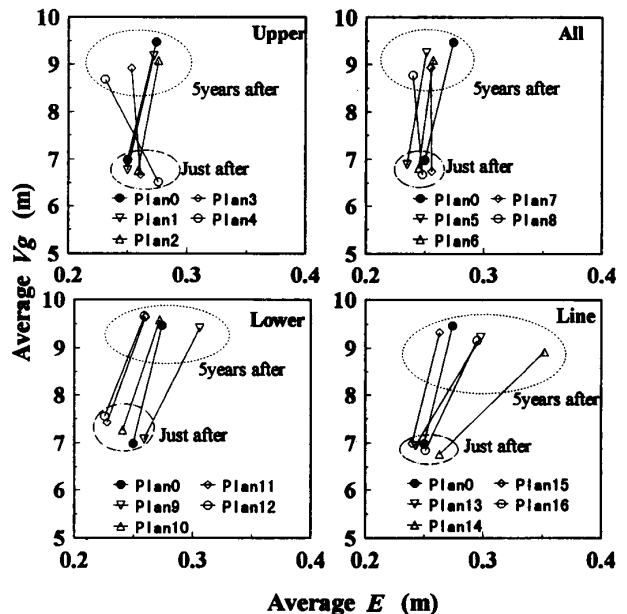


Fig. 4. Relationships between average E and average V_g .

た、全ての間伐種において、間伐率の増加に伴って $Fwc \geq 4$ の個体数割合は増加した。間伐率の増加に伴う $Fwc \geq 4$ の個体数割合の増加程度は間伐の葉重量を大きく増加させる効果を示していると考えられる。葉重量を大きく増加させる効果は列状間伐で小さかった。列状間伐を除くと間伐種による違いはみられなかった。

Fig. 4に重心高と重心の偏倚の全個体の平均値の変化を示す。上層間伐で間伐直後に重心高が低下し、下層間伐で重心高が上昇した。これは伐採された間伐木の重心高の違いを反映したものである。間伐5年後では上層間伐の重心高が最も低く、下層間伐で最も高かった。5年間の重心の上方への移動量は無間伐で最も大きく、間伐強度が大きくなるほど移動量は小さくなった。結果として5年後の重心高の下層間伐と無間伐の違いは間伐直後より小さくなった。重心の偏倚は間伐直後に上層間伐で増加し下層間伐で減少した。間伐5年後は上層間伐と全層間伐の一部で重心の偏倚が減少したが、列状間伐では10cm以上も偏倚量が増加する場合があった。間伐5年後の重心の偏倚は列状間伐で最も大きく上層間伐、全層間伐で小さかった。このように全個体の重心位置の平均値は間伐方法によって違いがみられた。しかし、こうした平均値レベルの解析は伐採された間伐木の重心位置の影響を受けることなどから、間伐の残存木に及ぼす効果を正しく知ることはできない。このため間伐後5年間の変化量を個体レベルで解析する必要がある。

樹木のプロファイル理論⁴⁾では樹高成長に伴って葉の垂直分布構造が上方へ平行移動し、その移動量は樹高成長量と等しいことが重要な仮定の一つとなっている。著者¹⁷⁾は無間伐の場合この仮定がなりたつことをモデルによって予測した。このことから、着葉分布構造の垂直方向の変化は樹高成長量との関係で考える必要がある。そこで、重心高の5年間の変化量 Vgc (Fig. 2) と樹高成長量 Hi の差を求めた。無間伐の場合 $Hi-Vgc$ が0.2m未達の個体が約90%を占めた (Fig. 5)。すなわち、多くの個体の重心が5年間の林分の平均樹高成長量とほぼ同程度かそれ以上高くなったことを意味する。間伐強度が増加するにしたがって $Hi-Vgc < 0.2m$ の個体数割合は減少し、一方 $Hi-Vgc \geq 0.6m$ の個体数割合は増加した。すなわち、間伐には重心の上方への移動を抑制することによって、垂直的な安定性を維持しようとする効果があると考えられ、この効果は間伐率が

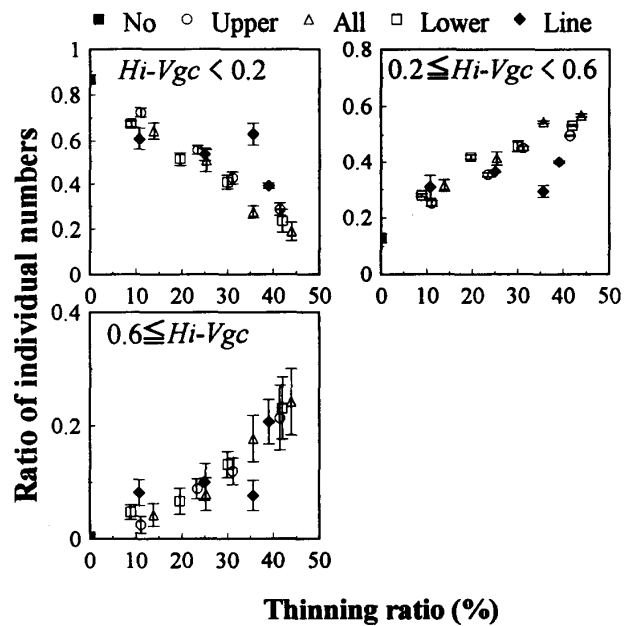


Fig. 5. Relationships between relative frequency of $Hi-Vgc$ and thinning ratio. Legend; Bars indicate that confidence intervals at confidence coefficient is 0.95.

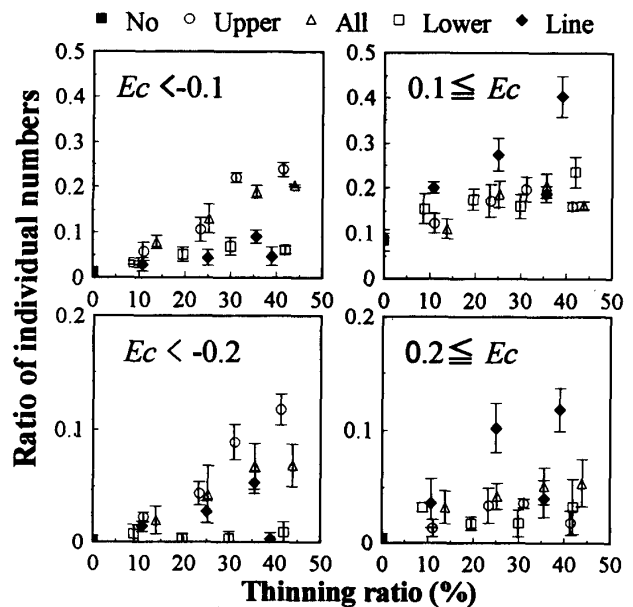


Fig. 6. Relationships between relative frequency of Ec and thinning ratio. Legend; Bars indicate that confidence intervals at confidence coefficient is 0.95.

大きいほど大きかった。

間伐種によって $Hi-Vgc$ 別の個体数割合に大きな違いは見られなかったが、大きな伐採列幅を持つ間伐案15は他の間伐案に比べて重心がより上方に移動

する個体が多かった。間伐案15では間伐ギャップに面しない区域が広く、このため重心高の上方への移動が抑制された個体が少なかったものと考えられる。

重心の幹軸からの偏倚の5年間の変化量 Ec ごとの個体数割合と間伐率の関係を Fig. 6に示した。 Ec が負の個体は重心の偏倚量が減少する個体であり水平的な安定化にむかう個体で、正の個体は重心の偏倚量が増加し水平的な安定が失われようとする個体である。 $Ec < -0.1$ の個体数割合も、 $Ec \geq 0.1$ の個体数割合も間伐率が大きくなるほど増加した。間伐率が小さい場合間伐の樹冠や着葉分布に与える影響は小さいため Ec が変化する個体数は少ないものと考えた。無間伐の場合、 $Ec < -0.1$ の個体が1%程度であるのに比べ、 $Ec \geq 0.1$ の個体がほぼ10%を占めた。このことは無間伐で放置した場合徐々に重心の偏倚が促進されることを示す。

重心の偏倚に及ぼす間伐の影響は間伐種によって大きく異なった。列状間伐は間伐案15を除いて、 $Ec \geq 0.1$ の個体が他の間伐種より著しく多かった。

上層、下層、全層間伐では $Ec \geq 0.1$ の個体に違いは見られなかった。しかし、上層間伐および全層間伐において $Ec < -0.1$ の個体数は下層間伐より多かった。また間伐率の増加に伴う $Ec < -0.1$ の個体数割合の増加程度は、 $Ec \geq 0.1$ の個体数割合の増加程度より大きかった。これらのことから、上層、全層間伐では樹冠偏倚を是正する効果が大きいと考えられた。

ま と め

無間伐の場合、個体の着葉量はほとんど変化せず (Fig. 3)、重心は樹高成長量程度上方へ移動する個体が約90%であり重心の上方への移動量が最も大きかった (Fig. 4, 5)。また重心の偏倚はわずかながら促進された (Fig. 4, 6)。このことから無間伐で放置された場合、個体の幹の物理強度はあまり増加しないにもかかわらず、樹冠の安定性は徐々に不安定になることがわかる。無間伐で放置された林分について冠雪害や風害の危険性が指摘されているが、このことは本間伐実験からも裏付けられた。

間伐は個体の着葉重量のみならず樹冠の安定性にも大きな影響を及ぼした。すなわち、間伐によって重心高の上昇が抑制されて (Fig. 4, 5)、垂直的な安定性が維持された。また重心の偏倚は間伐によって促進される場合と是正される場合があり (Fig. 6)、水平的な安定性に変化が生じた。これは、間伐ギャッ

プに面した樹冠下部で着葉部分が横方向に拡張されるためであると考えられる。間伐強度が増加するほど間伐ギャップに接する個体数が増加するため、樹冠安定性に及ぼす影響は大きくなった。

次に間伐種ごとの樹冠の安定性について考察する。上層間伐は平均の重心高が間伐直後に低下し (Fig. 4)、間伐によって重心高の上昇が抑制されるため (Fig. 5)、間伐5年後には最も低かった。一方下層間伐は平均重心高が間伐直後に上昇し、間伐5年後の重心高は最も高かった。しかしこれは間伐木の個体サイズの違いに由来するもので、個体の重心高の上昇を抑制する効果は間伐種によって違いが見られなかった (Fig. 5)。すなわち垂直的な安定性の維持に及ぼす効果は間伐種によって大きな違いはなく、間伐強度の違いによる影響が大きかった。

上層間伐と全層間伐は重心の偏倚を是正する働きが大きかった (Fig. 4, 6)。上層間伐や全層間伐は大きな個体を伐採するため、他個体を被圧していた個体 (あばれ木) が除去されることにより、偏倚が是正される個体が増加したものと思われる。これに比較して下層間伐ではこうした「あばれ木」を除去しないため重心の偏倚が是正される個体は少なかった。すなわち、樹冠の水平的安定性の点から考えると、上層間伐や全層間伐は下層間伐より優れていると考えられる。冠雪害や風害に対する抵抗性を論じるためには樹冠の安定性だけでなく、幹の物理的強度や林冠ギャップの状態などの他の要因を総合的に判断する必要がある。上層間伐は下層間伐に比較して幹直径が小さいため幹の物理的強度が小さいと考えられる。また間伐ギャップひとつあたりの大きさが大きく林冠閉鎖に時間を要するため、林分としての冠雪害や風害に対する抵抗性が小さいと考えられる。さらに、冠雪害の場合林分内で比較的大きな個体の被害率が少ないことが知られており^{6), 8)}、冠雪害防止には下層間伐が有効であると提言されている⁶⁾。したがって、単に樹冠の水平的な安定性のみから上層間伐の風害と冠雪害に対する抵抗性が下層間伐より大きいと結論づけることは危険である。ただし「あばれ木」の伐採が樹冠の安定性の維持に効果的であることが本実験によって予測されたことは、間伐技術を考える場合の重要な情報となりうるであろう。「あばれ木」は樹型級による選木基準²¹⁾の間伐対象とされている。冠雪害を受けやすい中層木⁸⁾の樹冠安定性を高めるという意味であばれ木の除去は風害や冠雪害に対する抵抗力のある森林を育成す

るために必要であると考え、

近年、タワーヤーダー、フェラバンチャー、ハーベスターなどの普及に伴い省力的施業としての列状間伐が注目されつつある。列状間伐の育林上の問題点も指摘されているが²⁰⁾、他の間伐方法に比べると情報は少ない。そこでモデルによる間伐実験の結果から列状間伐の着葉構造に及ぼす影響について考察してみたい。列状間伐は被圧の進行を抑制する効果及び葉重量を大きく増加させる効果が他の間伐種より小さかった (Fig. 3)。列状間伐は間伐ギャップが集中的に分布し、間伐の効果が及ばない区域が他の間伐種に比較して広く分布する。このため、他の間伐種に比べて間伐率が同程度であっても個体葉重量に及ぼす影響は小さかったと考えられる。したがって、列状間伐の場合、間伐率や個体数密度を基準として他の間伐種と比較することは意味が無く、たとえば密度管理図¹⁾などを用いた間伐率の設計などは適切ではないと考える。さらに列状間伐の場合、重心の偏倚が促進される個体を生じやすく樹冠の水平的な安定性を失いやすい (Fig. 4, 6)。特に間伐率25%と40%の場合に重心の偏倚が20cm以上促進される個体が10%以上も出現した。このことは列状間伐を実施する場合の注意点として考えるべきであろう。以上のことから、列状間伐は残存木の保育としての機能を期待すべきではなく、むしろ材の収穫時の作業性の向上や林床の光環境の改善を目的とする場合に適用されるべきであろう。また残存木の保育を目的とする林分に適用する場合も、伐採列をその林分における間伐の作業性を向上させる基盤整備の区域として考え、残存木保育のための間伐と区分する必要があるだろう。

要 約

間伐方法が樹冠の安定性に及ぼす影響を知るために、林冠動態モデルを用いて、16種類の間伐を実行した場合の間伐後の樹冠の安定性の変化をシミュレートした。樹冠の安定性の指標として、個体の全着葉重量の重心の高さと重心の偏倚量を用いた。モデルの実行結果から以下の知見を得た。

1) 間伐強度は樹冠の安定性に大きく影響した。間伐率が大きいほど樹高成長に伴う重心の上昇は抑制された。したがって、強度の間伐によって樹冠の垂直的な安定性が維持されるものと考えられる。また間伐率が大きくなるにつれて間伐後5年間に重心の偏倚量が変化した個体の割合

は多くなった。

- 2) 上層間伐と全層間伐は他の間伐種に比較して重心の偏倚量を減少させる効果が大きかった。他の個体を被圧するようなサイズの大きな個体の伐採が樹冠の安定性の維持に有効であることが示された。
- 3) 列状間伐は他の間伐種に比較して個体葉重量に及ぼす影響は小さかった。このことから、列状間伐には林分密度管理図を基礎とした間伐率の計画は適切でないと考えられる。
- 4) 列状間伐は重心の偏倚を増大させるため、樹冠の水平的な安定性は失われやすかった。

文 献

- 1) 安藤 貴：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 (1968)
- 2) 荒木眞之：気象被害と防除・軽減。森林気象, p. 112-162, 川島書店, 東京 (1995)
- 3) Chiba, Y.: A mechanistic analysis of devastating damage by typhoons in sugi plantations in terms of stem breakage. *J. Jpn. For. Soc.*, 76, 481-491 (1994)
- 4) Chiba, Y., Fujimori, T., and Kiyono, Y.: Another interpretation of the profile diagram and its availability with consideration of the growth process of forest trees. *J. Jpn. For. Soc.*, 70, 245-254 (1988)
- 5) 藤森隆郎：植栽本数と間伐。林業改良普及双書 森林を育てる, 蜂屋欣二編, p. 84-95, 全国林業改良普及協会, 東京 (1988)
- 6) Fujimori, T., Matsuda M., and Kiyono, Y.: Stand structure and snow damage in relation to stand age - Sugi plantations in Fukui Prefecture in the 1981 heavy-snowfall. *J. Jpn. For. Soc.*, 69, 94-104 (1987)
- 7) 橋本良二：スギ人工林の間伐と光環境 (I) 林床相対照度の変化の検討。日林誌, 67, 253-260 (1985)
- 8) 石井 弘・片桐成夫・三宅 登・赤塚金治・高見宗臣：昭和53年1月異常降雪によって冠雪害をうけたスギ人工林の解析 I. 二つの被害林分の比較と冠雪害調査方法の検討。島根大農研報, 14, 50-59 (1980)
- 9) 梶原幹弘：スギ, ヒノキにおける樹冠量と幹材積成長量との関係。京都大演報, 26, 16-23 (1982)
- 10) Kanazawa, Y., Kiyono, Y., and Fujimori, T.: Crown development and stem growth in relation to stand density in even-aged pure stands (II) Clear-length model of *Cryptomeria japonica* stands as a function of stand density and tree height. *J. Jpn. For. Soc.*, 67, 391-397 (1985)
- 11) 清野嘉之：ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究。森総研研報, 359, 1-122 (1990)
- 12) Knowles, R.L. and West, G.G.: The use of crown length to predict the effects of pruning and thinning in *Pinus radiata*. in Fujimori, T. and Whitehead, D. (eds.), *Crown and canopy structure in relation to productivity*. p. 104-117, For. Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki (1986)
- 13) 松田正宏：スギ人工林の冠雪害発生機構に関する研究。福井県総合グリーンセンター研究報告, 8, 1-78 (1988)
- 14) 水永博己：林冠動態モデルによる間伐効果予測 (I) 間

- 伐後の林冠表面形状の動態. 日林誌, 74, 314-324 (1992)
- 15) 水永博己: 林冠動態モデルによる間伐効果予測(Ⅱ) 着葉構造と材積成長量の予測と検証. 日林誌, 76, 329-337 (1994)
- 16) 水永博己: 立木の配置状態から林内の光量子束密度がわかるか? 日林誌, 77, 266-268 (1995)
- 17) 水永博己: 林冠動態モデルによる間伐効果予測(Ⅲ) 間伐ゲームによる間伐方法の特性評価. 日林誌, 77, 373-377 (1995)
- 18) 中谷 浩・嘉戸昭夫・平 英彰・飯島泰男・沢田 稔
: スギ造林木の冠雪荷重による樹幹の変形と耐力. 木材学会誌, 30, 886-893 (1984)
- 19) Oohata, S. and Shinozaki, K.: A statistical model of plant form - Further analysis of the pipe model theory. *Jpn. J. Ecol.*, 29, 323-335 (1979)
- 20) 竹内郁男・只木良也・蜂谷欣二・河原輝彦・佐藤 明
: ヒノキ30年生林分の間伐試験-列状間伐を中心として-. 林試研報, 272, 141-155 (1975)
- 21) 寺崎 渡: 落葉松ノ間伐. 林試研報, 2, 97-176 (1905)

Summary

To clarify the thinning effects on the stability of crowns, some changes in the stability of crowns after thinning were simulated in sixteen sorts of thinning plans by the canopy dynamic model. Both the height and the eccentricity of the center of gravity of a tree's foliage were used as indexes of the stability of a crown. The results of simulation were summarized as in the following:

1. The thinning intensity largely effected the stability of crowns. The risings of center of gravity accompanying with the tree-height-growth were reduced in accordance with an increasing in the thinning ratio. This result suggests the possibility of keeping the vertical stability of crowns by the execution of intensive thinning. The relative frequency of occurrence of the trees supplied with changing eccentricity during 5 years after the thinning, increased linearly with the thinning ratio.
2. The upper and the all storied thinning reduced eccentricity more significantly than other thinning systems did. The cutting of the trees which were large enough to suppress the others was deemed to be effective to keep the horizontal stability of crowns.
3. The line thinning showed less effects on the individual foliage weight than other thinning systems did. Consequently, the planning of the thinning ratio by using the stand density control diagram was deemed to be inadaptable to the line thinning system.
4. The line thinning enlarged the eccentricity more than other thinning systems did, showing the tendency to lose the horizontal stability of crowns.