

## 高密度植栽されたエゾイタヤ、グイマツ、カシワの各保安林の 密度管理方法に関する基礎的研究

眞坂一彦・佐藤 創・鳥田宏行・今 博計・明石信廣

### Basic study for density control of densely planted protected forest composed of *Acer pictum* ssp. *mono*, *Larix gmelinii* var. *japonica* or *Quercus dentata* in Hokkaido, northern Japan

Kazuhiko MASAKA, Hajime SATO, Hiroyuki TORITA, Hirokazu KON, Nobuhiro AKASHI

#### 要 旨

本研究では、エゾイタヤ *Acer pictum* ssp. *mono* (Maxim.) Ohasi, グイマツ *Larix gmelinii* var. *japonica* Pilger, そしてカシワ *Quercus dentata* Thunb. の高密度植栽された若齢保安林を対象に間伐試験地を設定し、肥大成長や枝の枯上がりに対する間伐効果を検証した。間伐試験地は、エゾイタヤ林とグイマツ林については羽幌町天売に、カシワ林については釧路町音別に設定し、それぞれの林分に強度間伐区として本数伐採率にして50%~60%、弱度間伐区として25%~30%、そして間伐を施さない無間伐区を設けた。このとき、間伐方法は全層間伐を目標とした。いずれの林分も、強度間伐区は無間伐区に比べて間伐後6年間の肥大成長量 (cm/6年) が有意に改善され、しかもBA増加率は弱度間伐区や無間伐区より高かった。また、調査期間中のBA合計 (m<sup>2</sup>/ha) の推移や林冠閉鎖度 (%) からは、間伐効果が今後も持続することが推察された。ところが弱度間伐区では、肥大成長の有意な改善や、高いBA増加率は認められなかったり、さらには期間中の死亡個体が多く、かつ、BA増加量 (m<sup>2</sup>/ha) が無間伐区と同様に鈍化傾向にあったりと、強度間伐区と比較して間伐効果はきわめて小さかった。また、グイマツ林では枝の枯上がり高や形状比も調査を行ったが、弱度間伐区では無間伐区と有意な差は認められなかった。これらの結果は、既存の本数調整伐 (25%~30%) では、たとえ全層間伐であったとしても間伐効果がほとんどないか、また認められたとしても持続期間が3年程度ときわめて短期間であることを強く示唆している。また、間伐に併せて採取した円板から年輪幅成長量の判読により、植栽後数年でサイズにはっきりとした優劣が表れていることが明らかになった。これらの結果は、生育環境の厳しさから植栽木が淘汰されて林冠が疎開している林分でなければ、比較的早い時期にサイズが小さい個体を中心にした強度間伐を提案できる可能性を示唆している。

キーワード：間伐効果, 間伐試験, 高密度植栽, 保安林, 密度管理

## 目次

### 序論

#### 第1章 エゾイタヤ林

1. 1 はじめに .....	87
1. 2 調査地と調査方法 .....	88
1) 調査地	
2) 調査方法	
1. 3 結果 .....	90
1) エゾイタヤ個体の成長と枯死	
2) 林分成長	
3) 林冠閉鎖の推移	
4) 肥大成長経過	
1. 4 考察 .....	93

#### 第2章 グイマツ林

2. 1 はじめに .....	96
2. 2 調査地と調査方法 .....	97
1) 調査地	
2) 調査方法	
2. 3 結果 .....	99
1) グイマツ個体の成長と枯死	
2) 林分成長	
3) 樹形の変化	
4) グイマツの肥大成長経過	
2. 4 考察 .....	105

#### 第3章 カシワ林

3. 1 はじめに .....	106
3. 2 調査地と調査方法 .....	106
1) 調査地	
2) 調査方法	
3. 3 結果 .....	109
1) カシワ個体の成長と枯死	
2) 林分成長	
3) 林冠閉鎖の推移	
4) カシワの肥大成長経過	
3. 4 考察 .....	113

#### 第4章 総括

4. 1 どの程度の間伐強度が必要か? .....	114
4. 2 間伐効果の持続期間 .....	114

引用文献 .....	115
------------	-----

## 序 論

保安林とは、水源のかん養、土砂の崩壊その他の災害の防備、生活環境の保全・形成等、特定の公共目的を達成するために指定された森林であり、山火事や伐採などによって生じた無立木地にも造成される。造成される場合、多くの保安林は通常の施業がとられるような、ヘクタールあたり3,000本程度の密度で植栽される。しかし、とくに生育環境が厳しい場所に保安林を造成する際には、ヘクタールあたり10,000本植栽が行われている（森林・林業実務必携, 146p）。このような高密度植栽を行う理由は、密植するほど早く林冠が鬱閉することや、生育環境が厳しいことによる損耗を考慮したためである。そのような保安林を造成する場合、北海道では、エゾイタヤ *Acer pictum* ssp. *mono* (Maxim.) Ohasi やグイマツ *Larix gmelinii* var. *japonica* Pilger, カシワ *Quercus dentata* Thunb. などしばしば用いられ、道南の海浜地域ではクロマツ *Pinus thunbergii* Parlat. が用いられている。

造成された林分を健全に育成するためには、密度管理が必要になる。ここで用いる「健全」とは、風衝や雪害などが発生しやすい厳しい生育環境に対して耐性を持った状態、という意味である。多くの場合、枯上がりや抑えられ、形状比が低い状態の樹形が健全と考えられている。

ところが、高密度で植栽された保安林において実際に行われている密度管理（本数調整伐）の多くは、おもに被圧木などを対象にした下層間伐主体であり、林冠木の成長を促すような全層間伐が行われることはきわめて稀である。これはおそらく、生育環境が厳しいために、林冠を疎開させた場合に、それを契機として保残木になにかしらの気象害が発生することを危ぶんでいるためだと推察される（坂本, 2006）。そのため、高密度に植栽された保安林では、植栽直後の苗木の損耗がほとんどない限り、植栽木が厳しい個体間競争下に長期間おかれ、その結果として、個々の植栽木は樹冠の張りが小さく、生枝下も枯上がり、そして形状比が高い状態になってしまう危険性が生じることになる。さらには、林内照度がきわめて悪化するために、次世代の樹木の更新を阻害するだけでなく、下層植生の発達を妨げたり、表土が流出する危険性も心配される。

近年、保安林の指定施業要件の基準が見直しされ、間伐率の伐採限度が上限20%（立木材積割合）から35%に緩和された（官報第3204号, 2001年〔平成13〕, 森林法施行令別表第2第2号）。しかし、それらの間伐率の効果が検証されたことがほとんどないうえ、もともとこの間伐方法は、植栽密度がおおむね3,000本/haの林分であるような、通常の森林施業を行っている保安林を対象にしたものである（森林法施行令別表第2第3号(1), 森林法施行規則第22条の4）。すなわち、10,000本/ha植栽のような林分の施業を前提とした施業要件ではない、ということである。そのため、高密度植栽された保

安林に対する間伐効果を間伐試験によって実証し、そのような保安林の密度管理方法を確立する必要がある。

以上のような背景から、本研究では、保安林の密度管理方法を確立するための基礎データ収集を目的として、高密度植栽されたエゾイタヤ、グイマツ、そしてカシワの各保安林を対象に間伐試験を行い、保残木の肥大成長や樹形、林分成長などに対する効果を検証した。なお、伐採施業に関する呼称については、本数調整伐や除間伐など、目的によって用語が異なるが、本研究ではとくに断らない限り、間伐と呼ぶことにする。

本研究を進めるに当たり、水産林務部林務局治山課、ならびに留萌支庁林務課、釧路支庁林務課の職員の皆様に多大な便宜を図って頂いた。とくに留萌支庁林務課の職員の方々には現地での調査も手伝って頂いた。北海道立林業試験場の寺澤和彦、ならびに中川昌彦の各位には原稿の校閲と現地調査で協力を頂き、佐藤孝弘、長坂 有、来田和人、徳田佐和子、阿部友幸、田中香夜の各位には現地調査で協力を頂いた（敬称略）。末筆ながら、ここに記して感謝の意を表します。

※補注 北海道では長くイタヤカエデ *Acer mono* Maxim. が分類学上の和名・学名として用いられてきた。しかし、最近、北海道で分類されてきたイタヤカエデは、エゾイタヤ *Acer pictum* ssp. *mono* (Maxim.) Ohasi であるという学説が受け入れられているため、本研究でもその学説を採用することにする。

## 第1章 エゾイタヤ林

### 1.1 はじめに

エゾイタヤは、北海道では針広混交林の主要構成高木種であるが、耐塩性も高いため、海岸林内にカシワとの共存種として出現するだけでなく、ほぼ純林状の海岸林を形成する場合もある（e.g., 長谷川, 1984; 飯田, 1991; 真坂ら, 2004）。しかし、海岸林を除けば純林状の天然林はほとんど観られない（渡邊, 1994）。

エゾイタヤは耐塩性だけでなく、耐風性も高いため、海浜域や風衝地における保安林造成のためにしばしば用いられるが（e.g., 飯田, 1991）、林業対象樹種として植栽された事例はきわめて少ない（橋場ら, 1984）。そのため、エゾイタヤ林の林分構造や林分動態についてはほとんど未知であり、密度管理方法は確立されていない。

エゾイタヤ人工林について、これまで報告された事例をみると、幹の肥大成長は他の多くの高木種と比較して著しく遅いようで、たとえば定山溪国有林1130林班の人工林では、60年生の時点においてさえ、胸高直径（dbh）が30cmに到達したものは確認されていない（橋場ら, 1984）。また、札幌市有林の47年生人工林では、dbhが30cmを超えたものは、82個体中、わずかに2個体（2.4%）に過ぎない（松井・松崎, 1957）。な

お、これら人工林の施業記録については不明であるが、材を生産する目的で植栽されたわけではないようなので、密度管理は行われていないものと推察される。

天然林におけるエゾイタヤは、林内に前生樹として多数の稚幼樹が存在し、攪乱などにより林冠が疎開したときに空間を確保する樹種であるとされる(渡邊, 1994)。光合成特性からも、エゾイタヤは耐陰性が高い遷移後期種、いわゆる極相種と位置付けられている(Koike, 1989)。しかし、エゾイタヤは、林内における稚幼樹の多さの割には、大径木が少ない樹種である(e.g., 菊沢, 1983)。この事実は、エゾイタヤが成熟するまでに、多くの個体が淘汰されることを示唆している。耐陰性は生育ステージによって低下するともいわれており、これは樹高が高くなるに従い、林冠層に近づくために光環境が改善することに対応しているものと推察される(e.g., Farnsworth and Ellison, 1996)。もしエゾイタヤもそうであるならば、光環境が改善されないままの高密度状態に置かれた場合、肥大成長しない割には本数密度が激減することが予想される。橋場ら(1984)が報告した林分は、そのような状況を呈している可能性がある。そこで、本研究では、天売島において造成されたエゾイタヤ林を対象に、エゾイタヤの肥大成長や生存率、そして林分成長に対する間伐効果を検証する。

## 1. 2 調査地と調査方法

### 1) 調査地

間伐試験地は、2001年7月31日に、羽幌町天売の水源かん養保安林内にある69林班188小班内のエゾイタヤ林(19年生、1982年植栽)に設定した(図-1-1)。林内の様子を写真-1-1に示す。この林分は、3本巢植えによる、列間が3m、苗間(巢植え位置の間隔)が1mの列状植栽で造成されたものであり、そのため、原植密度は10,000本/haだったと推察される。また、試験地設定時における平均樹高は5.5mであり、これよりこの林分はIII等地に相当する(橋場ら[1984]参照)。

### 2) 調査方法

この林分内に、無間伐区(24m×18m)、ならびに本数伐採率で30%間伐区と60%間伐区(各12m×18m)の3区画を設けた(図-1-2)。無間伐区は植栽列を8列含み、30%間伐区と60%間伐区はそれぞれ4列含む。各処理区では、ナンバーテープによって個体を識別した後、胸高直径(dbh)を測定した。このとき、枝が胸高位置よりも下から発生していたり、萌芽によって複幹になっている場合は、それらの枝や幹にもナンバーテープを付けて胸高位置において直径を測定した。以後、枝と萌芽幹については併せて副幹と呼び、主幹と区分する。このとき、主幹は、試験地設定当時、複幹内でもっとも大きなdbhの幹とした。なお、樹高、および生枝下高につい

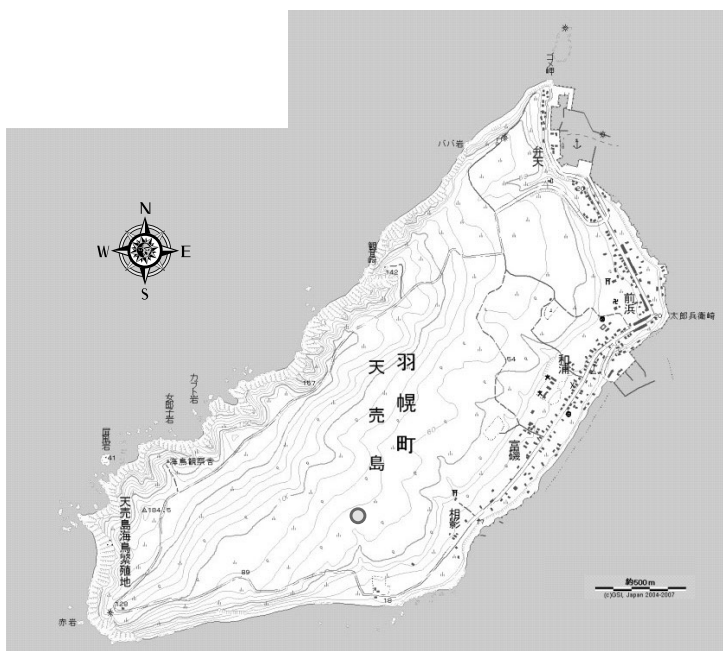


図-1-1 エゾイタヤ林間伐試験地の位置(○印の位置)  
 国土地理院地図閲覧サービス<http://watchizu.gsi.go.jp/>より作図。



写真-1-1 エゾイタヤ林間伐試験地の林内の様子  
 2007年7月19日撮影(無間伐区)。

でも試験地設定ときに測定したが、2007年時には、とくに間伐区において樹冠が大きく重なり合い、測定不可能であった。そのため、エゾイタヤについては、枝の枯上がりや形状比の変化についての解析は行わない。

間伐前の主幹の本数密度は、無間伐区、30%間伐区、60%間伐区においてそれぞれ、4606.5本/ha、4166.7本/ha、4305.6本/haだった。間伐は、試験地を設定した2001年7月31日に行った。間伐方法は全層間伐を目標としたが、被圧木も積極的に伐採したため、やや下層木に偏った間伐になった。間伐後の密度は、30%間伐区が2963.0本/ha、60%間伐区が1805.6本/haになった。各処理区における主幹のdbh階別出現頻度分布、および樹高階別出現頻度分布をそれぞれ図-1-3、図-1-4に示す。dbhの分布はいずれの処理区でも、8cm~10cm階にピークをもつ一山型の分布をしていた。また、樹高の分布は、6m~8mの範囲にピークをもつ一山型の分布をしており、dbh分布と樹高分布、ともに処理区間で大きな差異は認められなかった。

各処理区における個体の成長量と生残状況を把握するため、間伐後3年目(2004年7月29日)と6年目(2007年7月18日)

にdbhの再測定を行った。肥大成長量に対する間伐効果を検証するため、6生育期間(2001年~2007年)の肥大成長量(cm/6年)を従属変数、各処理を固定因子、そして期首dbhを共変量として一般線形モデルによる分析を行った。このとき、処理と期首dbhの交互作用の効果も併せて分析した。

間伐後の林分成長量を評価するため、間伐直前・直後、および間伐後の胸高断面積(BA; m<sup>2</sup>/ha)合計の推移を処理間で比較した。このとき、BA合計は主幹だけでなく、副幹も合わせた。間伐後のBA合計の推移については、全期間(2001年~2007年)のBA増加量(=[2007年時のBA合計]-[間伐直後のBA合計])とBA増加率(=[期末年のBA合計]/[期首年のBA合計])だけでなく、間伐後の6生育期間を上半期(2001年~2004年)と下半期(2004年~2007年)に分け、それら2期間におけるBA増加量の変化量(ΔBA:=[下半期のBA合計増加量]-[上半期のBA合計増加量])、およびBA増加率によって評価した。

林冠閉鎖の度合いを処理間で比較するため、間伐直前と間伐直後、そして間伐後6年目に、植栽列間において魚眼レンズを用いて全天写真を撮影した。全天写真は、無間伐区では

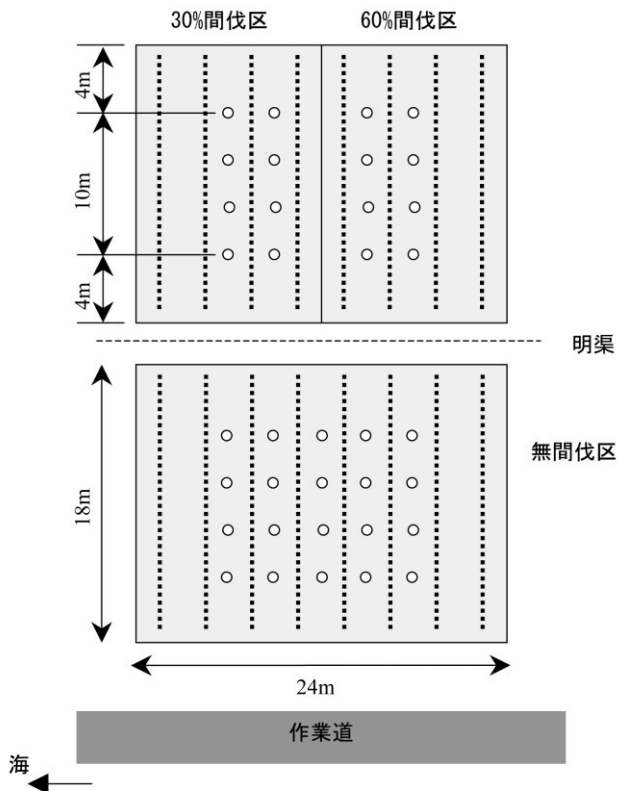


図-1-2 エゾイタヤ林間伐試験地の配置図(概略図)  
太い破線は植栽列、○印は全天写真撮影地点を表す。

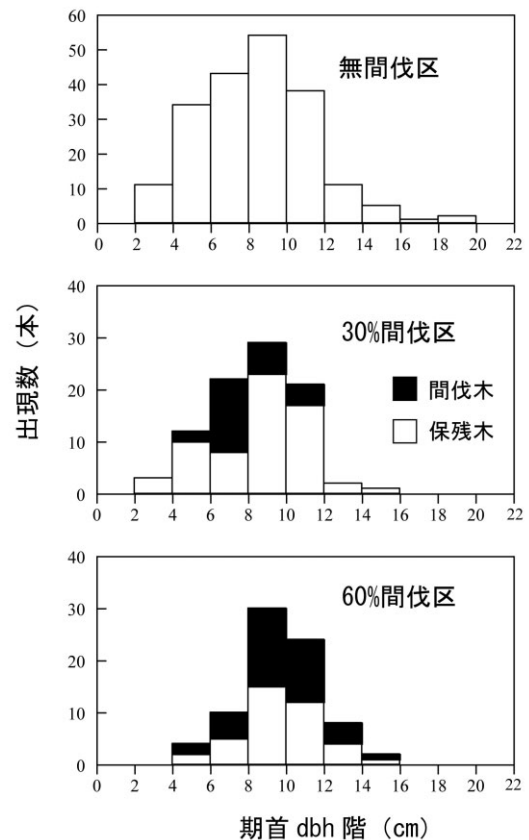


図-1-3 エゾイタヤ林間伐試験地における試験地設定時(2001年)の主幹のdbh階別出現頻度分布  
無間伐区は他の処理区より2倍面積が大きいことに注意。

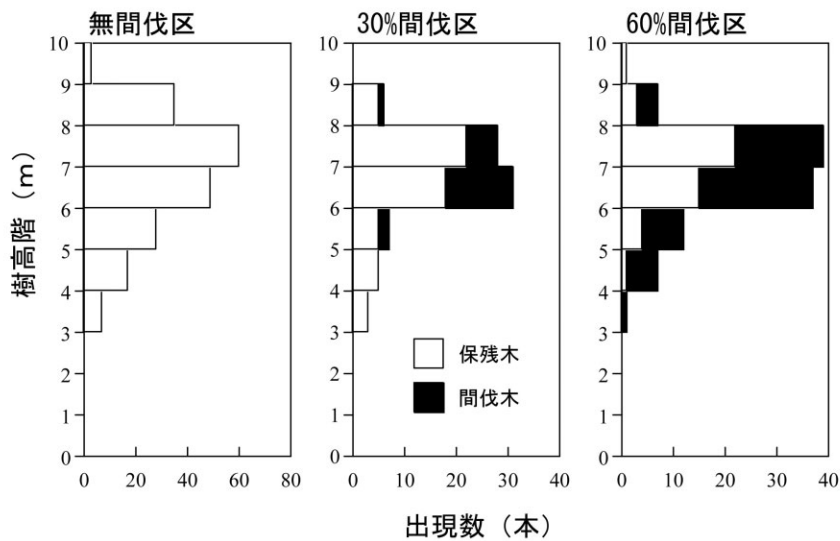


図-1-4 エゾイタヤ林間伐試験地における試験地設定時(2001年)の主幹の樹高階別出現頻度分布  
無間伐区は他の処理区より2倍面積が大きいことに注意。

20地点、30%間伐区と60%間伐区ではそれぞれ8地点において、地上高1.3mの位置で撮影した(図-1-2)。撮影地点は、林縁の植栽列を除いた林内の列間中央に10mラインを設定し、ほぼ等間隔で4地点撮影した。10mラインの両端は、それぞれ林縁から4mずつ離れている。全天写真は、2001年についてはLIA32 (LIA for Win32; Yamamoto, 2005) によって林冠閉鎖度を解析した。2007年については Gap Light Analyzer (Frazer *et al.*, 1999) によって開空度(%)を解析し、100-開空度によって林冠閉鎖度とした。そして、それぞれの処理区において林冠閉鎖度の平均値を求めて、これを各処理区の平均林冠閉鎖度とした。

間伐試験地設定時までの成長経過を評価するため、間伐時にエゾイタヤ7個体の胸高位置から円板を採取し、実験室に持ち帰って年輪幅(4方向)を測定した。そして1990年時、1995年時、2000年時の3時点における各個体の累積年輪幅の大きさ順位を、Kendallの順位相関分析によって評価した。

データの統計処理にあたっては、SPSS 15.0J for Windows release 15.0.1J (SPSS Inc., 2007) を使用した。

### 1. 3 結果

#### 1) エゾイタヤ個体の成長と枯死

間伐後、6生育期間を経たエゾイタヤ林の主幹のdbh階別出現頻度分布は、いずれの処理区でも右側に推移したが(図-1-5)、無間伐区ではピークの位置が変化しなかった。また、頻度分布の形状は、30%間伐区では間伐直後に二山型を呈していたという条件はあるものの、いずれの処理区も二山型となり、階層化が進んでいた。また、エゾイタヤ個体(主幹)

は、いずれの処理区でもdbhが大きいものほど肥大成長量が多い傾向が認められた(表-1-1; 図-1-6)。一般線形モデルによって、肥大成長量に対する処理の効果と期首dbhの効果进行分析したところ、処理と期首dbhの二つの変数が有意で、交互作用の処理×期首dbhは有意ではないという結果を得た(表-1-2)。そのため、有意とされた変数のみを用いてパラメータを推定したところ、各処理の効果については、パラメータの推定値の大きさが60%間伐区 > 30%間伐区 > 無間伐区という順位で、かつ信頼区間は重なることがなかった(表-1-3)。この結果は、間伐強度が強い処理ほど、主幹の成長量が多い傾向があったことを示している。なお、再分析した際のモデルの自由度調整済みR<sup>2</sup>は0.819だった。

主幹の枯死は、間伐後6生育期間中、30%間伐区と無間伐区における小径階で認められたものの、60%間伐区では認められなかった(図-1-7)。また、主幹よりも副幹の枯死が多く、副幹も含めて処理間で比較すると、間伐強度が弱いほど大きい直径階での死亡が認められた(図-1-7)。

#### 2) 林分成長

間伐後のBA合計は、6生育期間経た時点において、30%間伐区は間伐前のBA合計を越えたものの、60%間伐区ではまだ間伐前のBA合計に達していなかった(図-1-8)。しかし、60%間伐区のBA合計は、間伐後の6生育期間中に単調に増加していたものの、無間伐区と30%間伐区では頭打ちになりつつあった(図-1-8)。6生育期間中のBA増加量は、全期間を通してみると処理間で大きな差は認められなかったが、上半期(2001年~2004年)と下半期(2005年~2007年)に分けて比較すると、上半期は無間伐区 > 30%間伐区 > 60%間

表-1-1 エゾイタヤ主幹の期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての回帰分析結果

	係数	P	d.f.-adjusted R <sup>2</sup>	P
無間伐区				
切片	-0.327	< 0.009		
期首dbh	0.218	< 0.001		
			0.458	< 0.001
30%間伐区				
切片	-	-		
期首dbh	0.261	< 0.001		
			0.771	< 0.001
60%間伐区				
切片	1.061	< 0.020		
期首dbh	0.178	< 0.003		
			0.204	< 0.003

表-1-2 エゾイタヤ主幹の期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての一般線形モデルによる分析結果

SS; タイプIII 平方和, *df*; 自由度, *MS*; 平均平方, *R*<sup>2</sup>; d.f. - adjusted R<sup>2</sup>

	SS	<i>df</i>	MS	F	P	R <sup>2</sup>
モデル	779.779	6	129.963	225.080	< 0.0001	
処理	6.631	3	2.210	3.828	< 0.020	
期首dbh	52.513	1	52.513	90.945	< 0.0001	
処理×期首dbh	2.114	2	1.057	1.831	0.162	
誤差	166.871	289	0.577			
総和	946.650	295				0.820

表-1-3 エゾイタヤ主幹の期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての一般線形モデルにおけるパラメータ推定値

変数	パラメータ	標準誤差	t値	P	95%信頼区間	
					下限	上限
無間伐区	-0.394	0.122	-3.230	< 0.001	-0.634	-0.154
30%間伐区	0.197	0.150	1.315	0.190	-0.098	0.491
60%間伐区	0.667	0.177	3.778	< 0.001	0.320	1.015
期首dbh	0.228	0.017	13.831	< 0.001	0.196	0.261

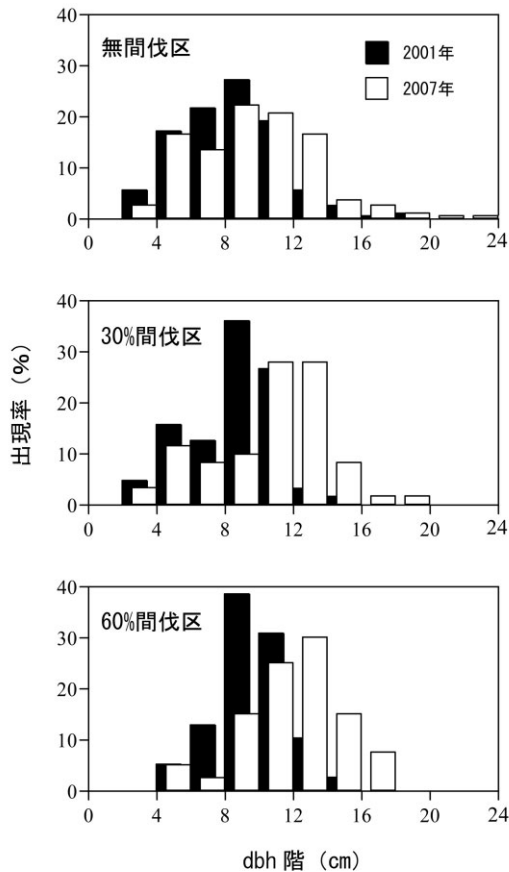
伐区の順番で大きく、下半期は逆に60%間伐区 > 30%間伐区 > 無間伐区という順番となった(表-1-4)。その結果、下半期のBA増加量は、60%間伐区において上半期のBA増加量を上回ったが、無間伐区と30%間伐区では減少した(表-

1-4)。一方、BA増加率の大きさは、60%間伐区 > 30%間伐区 > 無間伐区という順番で、これは上半期(2001年~2004年)と下半期(2005年~2007年)に分けて比較しても同様な傾向だった(表-1-4)。

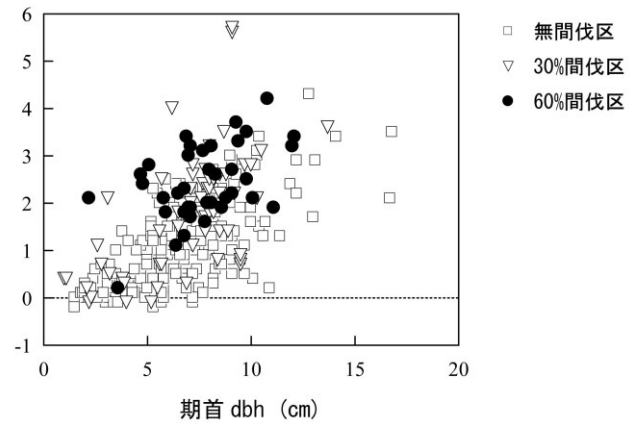
表一 1-4 間伐後 6 生育期間中におけるエゾイタヤのBA合計 (m<sup>2</sup>/ha) の増加量と増加率

期間	処理区		
	無間伐区	30%間伐区	60%間伐区
BA増加量 (m <sup>2</sup> /ha)			
上半期 (2001/2004)	5.89	5.30	3.93
下半期 (2004/2007)	2.92	3.19	4.43
全期間 (2001/2007)	8.80	8.49	8.35
△BA	-2.97	-2.11	0.50
BA増加率			
上半期 (2001/2004)	1.24	1.33	1.35
下半期 (2004/2007)	1.10	1.15	1.29
全期間 (2001/2007)	1.36	1.53	1.74

補記：△BA = (下半期のBA増加量) - (上半期のBA増加量)；BA増加率 = (期末年のBA合計) / (期首年のBA合計)。



図一 1-5 エゾイタヤ主幹における期首dbh (2001年) と間伐後 6 生育期間後 (2007年) のdbhの出現率分布



図一 1-6 エゾイタヤ主幹における期首dbh (2001年) と間伐後 6 生育期間中 (2001年~2007年) の肥大成長量の関係



### 3) 林冠閉鎖の推移

間伐直前の平均林冠閉鎖度は、いずれの処理区も約95%で、林冠層が十分に閉鎖している状態だったといえる(図-1-9)。間伐直後、30%間伐区では $89.9\% \pm 1.8\%$ (平均値 $\pm$ 標準偏差)に、60%間伐区では $79.8\% \pm 4.5\%$ まで低下した。間伐後、6生育期間経た時点において、30%間伐区では間伐直前の閉鎖状態までにはほぼ回復した。また、60%間伐区も平均林冠閉鎖度が90%以上となったが、実際はまだ大きなギャップが存在し、十分に閉鎖しているという状態ではなかった(写真-1-2)。

### 4) 肥大成長経過

採取した円板の年輪判読によって得られた肥大成長過程を図-1-10に示す。本試験地のエゾイタヤ個体の累積年輪幅は、2000年時、1995年時、そして1990年時の3時点間で有意な正の相関関係を示した(表-1-5; 図-1-11)。

## 1.4 考察

天売島の水源かん養保安林内に設定された19年生(設定時)

のエゾイタヤ林間伐試験地により、エゾイタヤ林に対する間伐効果が検証された。

本試験地におけるエゾイタヤ主幹のdbh階別出現頻度分布は、間伐直前には一山型を示し、明瞭な階層化が認められなかったものの(図-1-3)、間伐後6生育期間経た時点(25年生時)には二山型となり、階層構造が発達していた(図-1-5)。このことは、光を巡る個体間競争がより厳しくなったことを示唆している。また、dbh-肥大成長量関係は、処理間で有意な差が認められ(表-1-2, 3; 図-1-6)、それゆえ、同じ直径階で比較した場合、間伐強度が強いほど幹の肥大成長が大きい傾向があったといえる。ただし、30%間伐区では、無間伐区よりも有意に肥大成長していたとはいえ、6生育期間中のBA増加量は無間伐区同様に上半期と下半期のあいだで減少していた(表-1-4)。間伐後6生育期間を経た時点において、30%間伐区の林冠層は無間伐区とほとんど変わらないほどに閉鎖していた(図-1-9)ことや、小径階とはいえ主幹にも枯死木が出現していたことから(図-1-7)、密度効果による個体間競争が厳しくなり、今後、

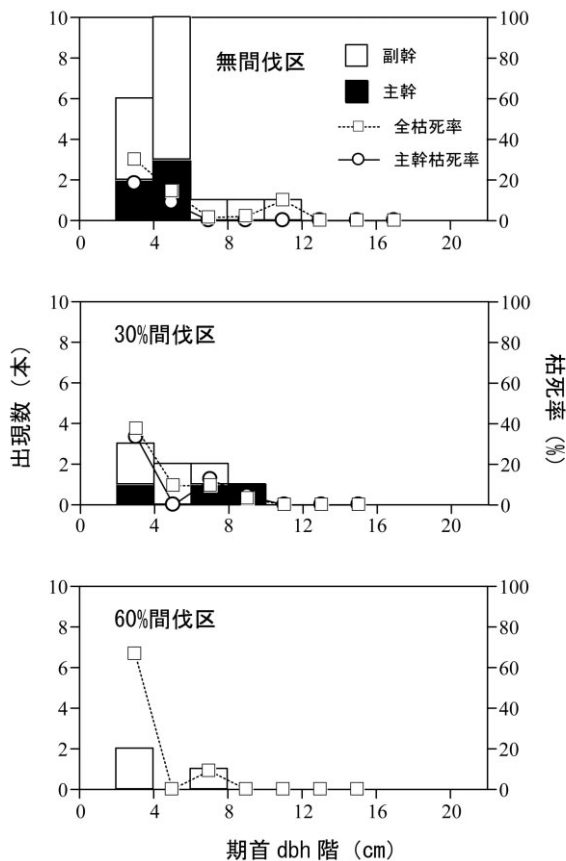


図-1-7 エゾイタヤ林間伐試験地における期首dbh(2001年)と間伐後6生育期間内の枯死数・枯死率の関係  
無間伐区は他の処理区より2倍面積が大きいことに注意。

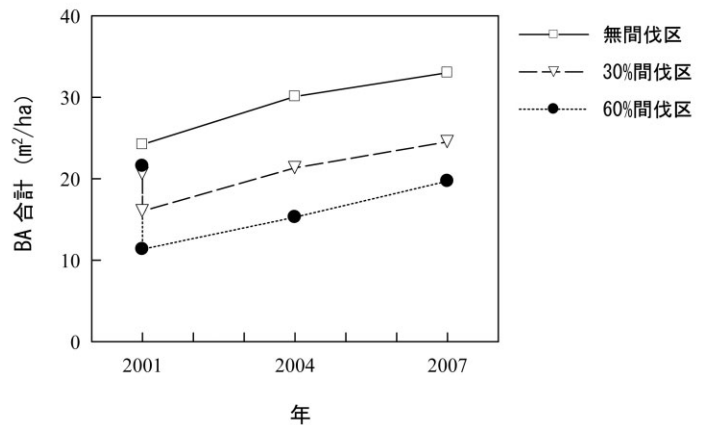


図-1-8 各処理区における試験地設定後6生育期間中(2001年~2007年)のBA合計の推移(副幹込み)

肥大成長はますます抑制されるものと考えられる。それゆえ、19年生のエゾイタヤ林(III等地)に対する、本数伐採率30%の間伐による肥大成長への間伐効果は、間伐後の3年間という短い期間しか認められなかったといえる。

なお、この試験地内では本数調整伐によるものと考えられる伐根が複数認められたが、伐根径は小サイズに偏っており、また肥大成長履歴からは、各個体で同時に肥大成長が急激に増加した形跡は認められなかった(図-1-10)。そのため、この過去の本数調整伐による、林冠構成木の成長に対する効果はほとんどなかったと考えられる。

一方、60%間伐区では、今後数年間、BA増加量が減少しないと仮定すると、2007年以後、2~3年以内には間伐直前のBA合計を上回ることが予想される(表-1-4;図-1-8)。また、2007年時点では林冠層には大きな疎開部があり(写真-1-2)、この疎開部が無間伐区のエゾイタヤ林の林冠層ほどに閉鎖するまでには、まだしばらく時間が必要であろう。そのため、間伐直前のBA合計を上回ったとしても、肥大成長が抑制されるまでには、まだ相当の時間がかかるものと推察される。60%間伐区における間伐効果の持続時間については、今後も継続して調査を行い、確認する必要がある。

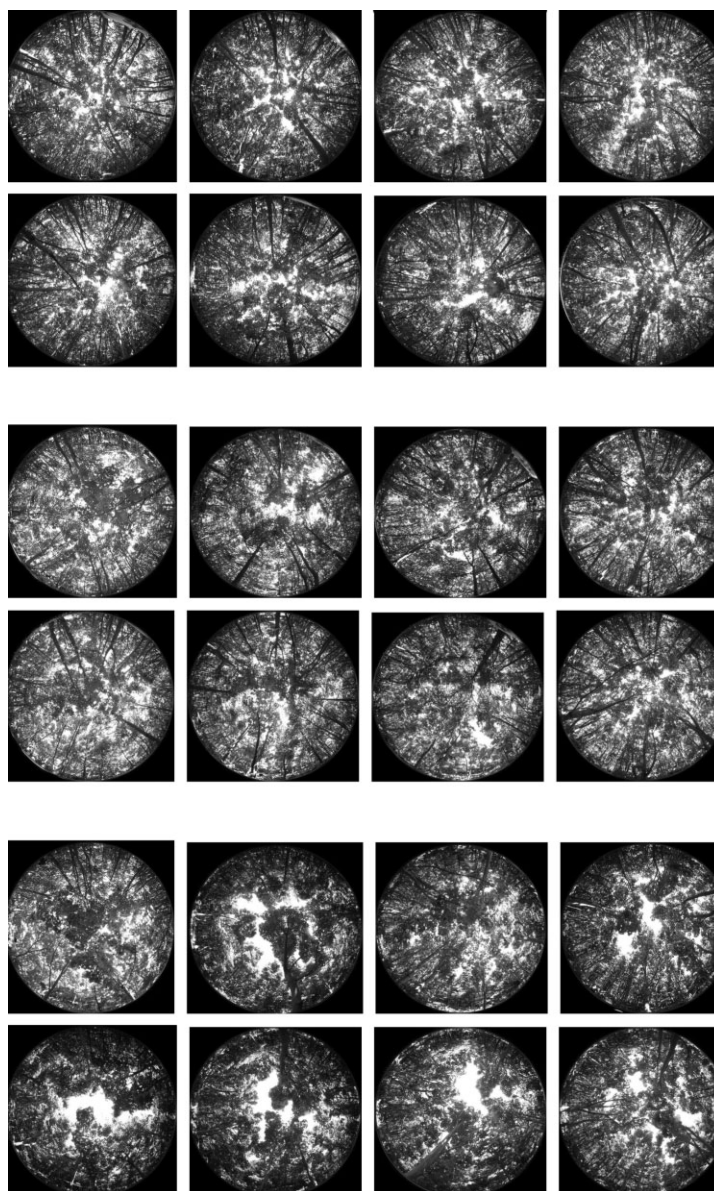


写真-1-2 エゾイタヤ林間伐試験地における全天写真

上段8枚は無間伐区,中段8枚は30%間伐区,下段8枚は60%間伐区。無間伐区は20枚のうち、林冠閉鎖度下位1位~8位を使用。

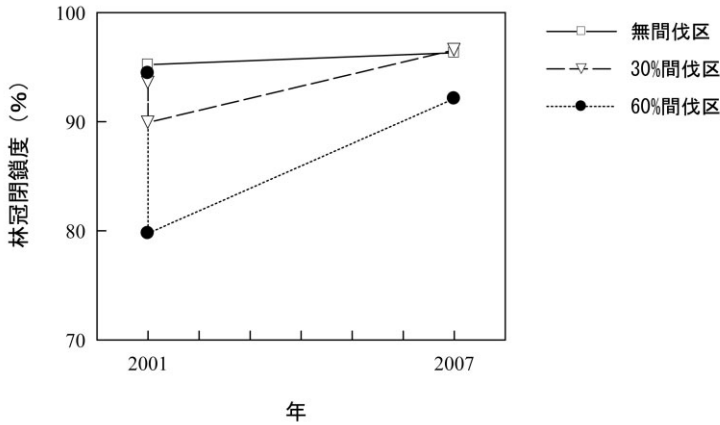


図-1-9 各処理区における試験地設定後6生育期間中(2001年~2007年)の林冠閉鎖度の推移

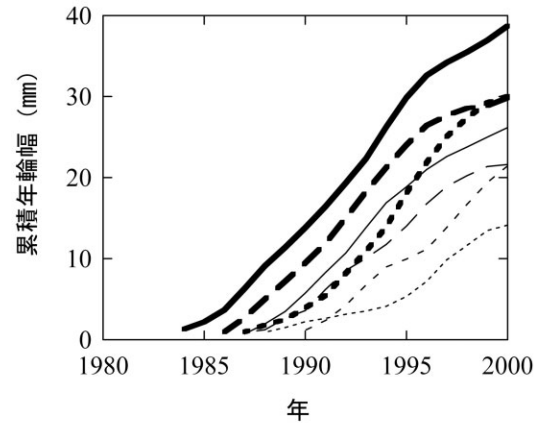


図-1-10 間伐試験地設定時までのエゾイタヤの個体別の肥大成長過程

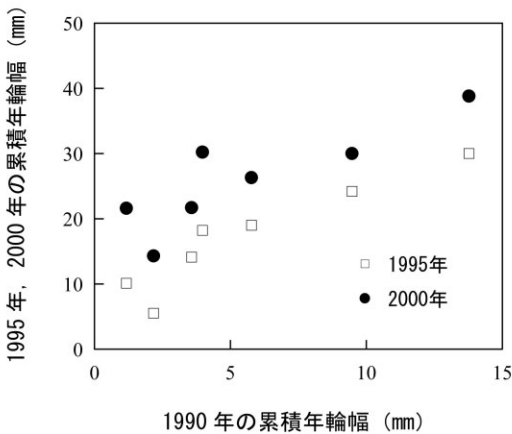


図-1-11 エゾイタヤの肥大成長過程における累積年輪幅の年次間での対応関係

表-1-5 エゾイタヤの肥大成長過程における各年次の累積年輪幅の大きさ順位についてのKendallの順位相関分析結果

組み合わせ	順位相関係数 $\tau$	$n$	$P$
5年生時 vs. 10年生時	0.905	7	< 0.005
10年生時 vs. 15年生時	0.810	7	< 0.011
5年生時 vs. 15年生時	0.714	7	< 0.025

今回の間伐試験結果は、間伐後6生育期間のものではあるが、間伐後の死亡は小径階に偏る傾向があり、林冠構成木には認められなかった。そのため、十分に林冠が閉鎖したエゾイタヤ林に対しては、本数率にして60%の全層間伐を施しても大きな問題はないと考えられる。また、幹の死亡が、主幹よりも副幹で多く観られたのは、巢植え+複幹という状況の中において、きわめて局所的な競争効果が働いたものと推察される。それゆえ、間伐は、巢植え内の間引きや副幹の剪定を中心に行うべきであろう。加えて、エゾイタヤの肥大成長履歴を個体間で比較したところ、2000年時(18年生時)における累積年輪幅は、5年前(13年生時)、および10年前(8年生時)の累積年輪幅と有意な正の相関が認められた(表-1-5; 図-1-11)。この結果は、植栽後の早い時期に、すでにサイズの優劣関係がほぼ出来上がっており、林分の成長過程においてサイズの大きさ順位を大きく変えることなく、個々の個体が成長していることを示唆している。一般に、高

齢になってから林冠を疎開させても、すでに枯上がりが進行しているため樹冠の発達ほとんど促されず、間伐効果はほとんど期待できない。それゆえ、間伐は若いうちに行う必要がある。林齢が若い時点におけるサイズの優劣関係がその後も維持されるならば(表-1-5; 図-1-11)、若い時点で大サイズ個体を中心に選抜して保残することが望ましいと考えられる。その際、生育環境の厳しさから植栽木が淘汰されて林冠が疎開している林分でなければ、高密度植栽された林分は強度の間伐を行う必要があるだろう(図-1-6,7,9)。なお、この提案は、全層間伐を否定するものではなく、下層間伐が効果を持たないほどに階層構造が発達する前の若い林分を対象にしたものである。また、今回得られた結果は、19年生の林分に対して間伐を行った結果である。エゾイタヤ人工林の場合の間伐効果が表れる限界林齢については、今後、林齢を異にする林分を対象にした間伐試験を行って検証する必要がある。

## 第2章 グイマツ林

### 2.1 はじめに

グイマツはもともと北海道本土には分布しない、いわば外来樹種である。グイマツは、同属のカラマツ *Larix kaempferi* (Lambert) Carriere と比較してエゾヤチネズミ *Myodes rufocanus bedfordiae* (Thomas) による樹皮食害を受けにくいという性質を持っている(高橋ら, 1966)。また、寒さに対する抵抗性がカラマツより高く、枝葉密度がカラマツに比べて疎のため、風雪害に対する抵抗性もカラマツより高いという(北海道林務部・北海道林木育種協会, 1987)。とくにチシマ系のグイマツ

ツは、強風による先枯れ病に対しても耐性があるという(石倉・畠山, 1982)。

グイマツは林業対象樹種としての造林実績はほとんどないが、防霧林や防風林など、通常の施業が行われないような保安林の造成でしばしば用いられる。しかし、高密度で植栽されたグイマツ林の密度管理方法は確立されていない。そこで、本研究では、高密度で植栽されたグイマツ林の密度管理方法を確立するための基礎資料を得る目的で、天売島において造成されたグイマツ林を対象に、グイマツの肥大成長や生存率、林分成長、形状比や枝の枯上がりなどの樹形に対する間伐効果を検証する。



図-2-1 グイマツ林間伐試験地の位置 (○印の位置)  
 国土地理院地図閲覧サービス <http://watchizu.gsi.go.jp/> より作図。



写真-2-2 グイマツ林間伐試験地の林内の様子  
 2007年7月19日撮影 (50%間伐区)。本数伐採率で50%という強度の全層間伐後、6生育期間を経てもなお、林床植生の発達はほとんど見られない。なお、全天写真撮影のために、枯枝は払い落している。



写真-2-1 グイマツ林間伐試験地の林外の様子  
 2007年7月19日撮影。右側に無間伐a区と50%間伐区が並び、左側に25%間伐区が位置する。

## 2. 2 調査地と調査方法

### 1) 調査地

間伐試験地は、2001年7月31日～8月1日に、羽幌町天売の水源かん養保安林内にある69林班113小班内のグイマツ林（15年生、1987年植栽）に設定した（図-2-1）。林分の外観、および林内の様子を、それぞれ写真-2-1と写真-2-2に示す。間伐試験地設定時、林冠は閉鎖しており、林床植生はほとんど皆無に近い状況だった。この林分は、2条植栽で造成され、筋間の列間が1.9～2.2m、筋内の列間が0.5～0.9m、そして苗間が0.9mであったため、原植密度は10,000本/haだったと推察される。

### 2) 調査方法

間伐試験地は、無間伐区が2区画（無間伐a区、無間伐b区）と、本数伐採率で25%間伐区と50%間伐区が1区画ずつの計4区画を設けた（図-2-2）。なお、本試験地は台地上に造成されており、無間伐区の1つ（無間伐b区）は、その台地上の縁に面し、風衝作用が強いため林冠高が低い処理区となっている。間伐前の密度は、無間伐a区が5175.0本/ha、無間伐b区が3825.0本/ha、25%間伐区が5275.0本/ha、そして50%間伐区が4750.0本/haである。間伐後の密度は、25%間伐区が3950.0本/ha、50%間伐区が2500.0本/haになった。それぞれの処理区は、いずれも20m×20mの大きさであるが、試験地設定後に周辺において本数調整伐が行われる予定があったため、その影響を排除するために各処理区の周辺5mを緩衝帯として本数調整伐を行わないように保残した。各処理区では、ナ

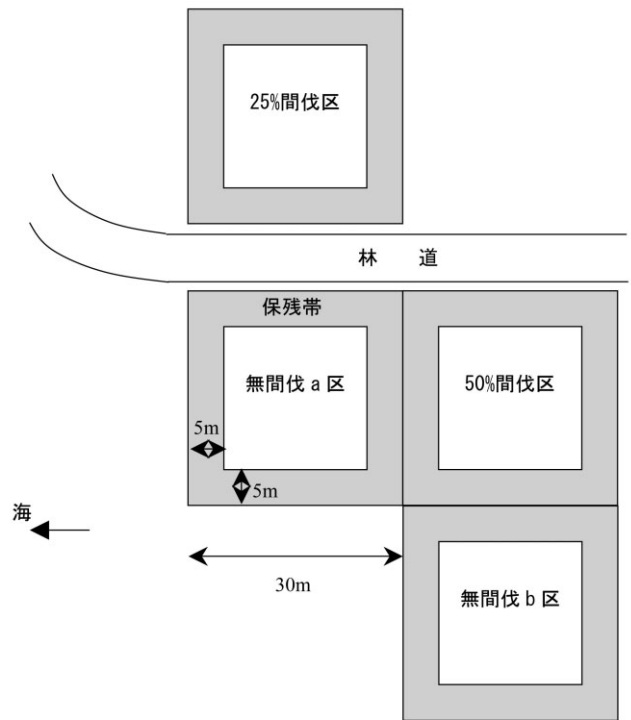


図-2-2 グイマツ林間伐試験地の配置（概略図）

各処理区(20m×20m)の周囲を5m幅で無施業の保残帯を残す。

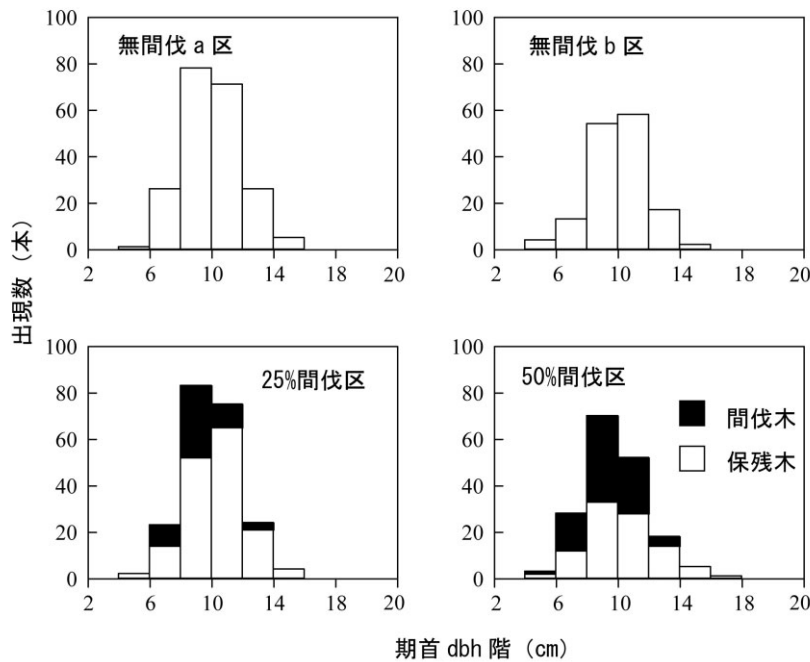


図-2-3 グイマツ林間伐試験地における試験地設定時（2001年）のdbh階別出現頻度分布

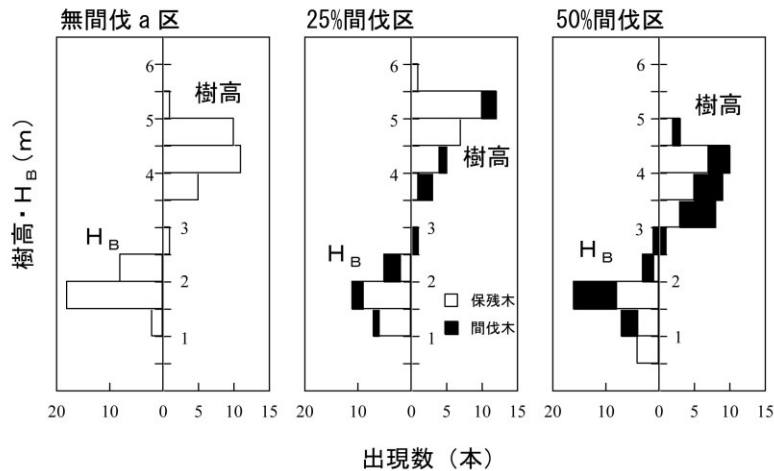


図-2-4 グイマツ林間伐試験地における試験地設定時（2001年）の樹高・生枝下高（ $H_b$ ）階別出現頻度分布  
無間伐b区は $H_b$ を測定していないため除外した。

ンバーテープによって個体を識別した後、dbhと樹高、生枝下高（ $H_b$ ）を測定した。なお、樹高と $H_b$ は、各処理区の中央に位置する2条植栽列の個体を対象に測定したが、無間伐b区については、 $H_b$ が胸高位置よりも低い個体が多数あったため測定しなかった。間伐方法は全層間伐を目標としたが、やや中層木を多めに間伐した。間伐は、間伐試験地設定後、9月～10月に行った。各処理区における間伐直前・直後のdbh階別出現頻度分布、および樹高・ $H_b$ 階別出現頻度分布をそれぞれ図-2-3と図-2-4に示す。dbhの出現頻度分布は、8cm～12cmの範囲にピークがある一山型の分布であり、処理間で大きな差異は認められなかった（平均dbh±標準偏差は、無間伐a区が $8.0\text{cm} \pm 1.9\text{cm}$ 、無間伐b区が $7.9\text{cm} \pm 1.9\text{cm}$ 、25%間伐区が $8.0\text{cm} \pm 1.8\text{cm}$ 、そして50%間伐区が $7.5\text{cm} \pm 2.1\text{cm}$ ）。しかし、樹高と $H_b$ の出現頻度分布は処理間で異なり、平均上層高（±標準偏差）は25%間伐区（ $4.8\text{m} \pm 0.7\text{m}$ ）、無間伐a区（ $4.3\text{m} \pm 0.4\text{m}$ ）、そして50%間伐区（ $3.9\text{m} \pm 0.5\text{m}$ ）の順で高い傾向があり、樹高の出現頻度分布は互いに有意な差が認められた（Kruskal Wallis 検定： $P < 0.001$ ）。また、平均 $H_b$ （±標準偏差）は、無間伐a区が $1.95\text{m} \pm 0.40\text{m}$ 、25%間伐区が $2.31\text{m} \pm 0.51\text{m}$ 、50%間伐区が $1.69\text{m} \pm 0.31\text{m}$ であり、 $H_b$ の出現頻度分布も互いに有意な差が認められた（Kruskal Wallis 検定： $P < 0.001$ ）。このとき、平均 $H_b$ は間伐直前の個体密度とのあいだに高い正の相関が認められた（図-2-5）。すなわち、試験地設定直前の個体密度が高い処理区ほど、枯上がりが進んでいる傾向があった（図-2-5）。

間伐後の林分成長量を評価するため、間伐直前・直後、および間伐後6生育期間の胸高断面積（BA;  $\text{m}^2/\text{ha}$ ）合計の推移を処理間で比較した。間伐後のBA合計の推移については、全期間（2001年～2007年）のBA増加量（= [2007年時のBA合

計] - [間伐直後のBA合計]）とBA増加率（= [期末年のBA合計] / [期首年のBA合計]）だけでなく、間伐後の6生育期間を上半期（2001年～2004年）と下半期（2004年～2007年）に分け、それら2期間におけるBA増加量の変化量（ $\Delta\text{BA}$ ；= [下半期のBA合計増加量] - [上半期のBA合計増加量]）、およびBA増加率によって評価した。

各処理区における間伐後の個体の成長量と生残状況を把握するため、間伐後3年目（2004年7月29日）と6年目（2007年7月19日）にdbhと樹高、 $H_b$ の再測定を行った。肥大成長量に対する間伐効果を検証するため、6生育期間（2001年～2007年）の肥大成長量（ $\text{cm}/6\text{年}$ ）を従属変数、処理を固定因子、そして期首dbhを共変量として一般線形モデルによる分析を行った。このとき、処理と期首dbhの交互作用の効果も併せて分析した。なお、複幹となっている個体がいづつか認められたが、グイマツは幹が通直であるため、肥大成長の解析では各幹を独立した個体として扱った。

樹形に対する間伐効果を評価するために、形状比の変化、および $H_b$ の変化量（ $\text{m}/6\text{年}$ ）を処理間で比較した。形状比については、初期条件として期首年（2001年）の形状比を処理間で比較した。このとき、一般に形状比とdbhのあいだに負の相関関係があることから（e.g., 金子ら, 2000）、処理間におけるdbh-形状比関係について、形状比を従属変数、処理を固定因子、そして期首dbhを共変量として、一般線形モデルによって分析した。そして、形状比に対する間伐効果を評価するため、各処理におけるdbh-形状比関係について、形状比を従属変数、年（期首年・期末年）を固定因子、そして期首dbhを共変量として、一般線形モデルによって分析した。

また、 $H_b$ の変化量、すなわち生枝の枯上がり長（ $\Delta H_b$ ）は、一般線形モデルを用いて処理間で比較した。 $\Delta H_b$ を評価す

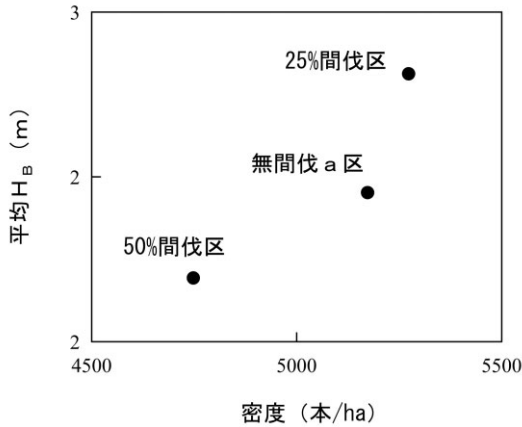


図-2-5 グイマツ林間伐試験地設定当時(2001年時)における各処理区の密度と平均生枝下高( $H_b$ ) (2004年時)の関係  
無間伐b区は $H_b$ を測定していない。

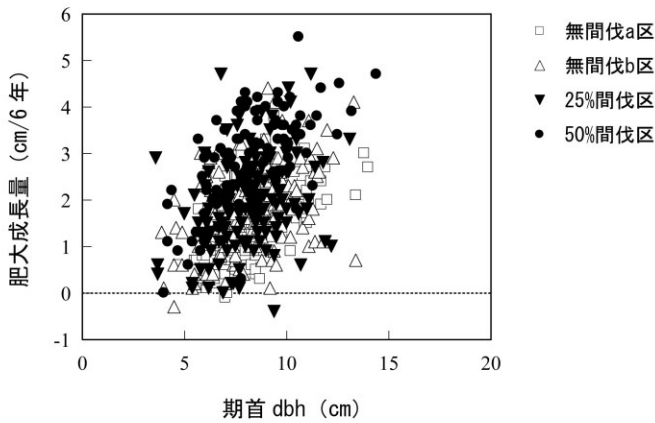


図-2-7 グイマツにおける期首dbh (2001年) と間伐後6生育期間中 (2001年~2007年) の肥大成長量の関係

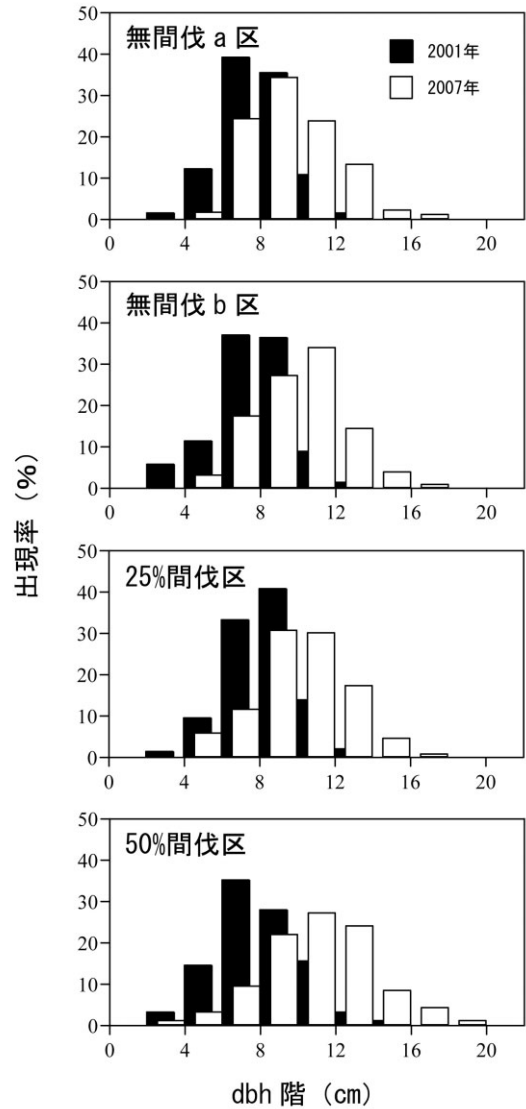


図-2-6 グイマツにおける期首dbh (2001年) と間伐後6生育期間後 (2007年) のdbhの出現頻度分布

る一般線形モデルでは、 $\Delta H_b$ を従属変数、処理を固定因子、期首樹高と期首 $H_b$ を共変数として分析した。なお、形状比、および $H_b$ の処理間での比較にあたっては、調査期間中の枯死に起因する偏りを排除するため、枯死した個体のデータは解析から除外した。

間伐試験地設定時までの成長経過を観察するため、間伐時にグイマツ23個体の胸高位置から円板を採取し、実験室に持ち帰って年輪幅(4方向)を測定した。そして個体ごとに、間伐試験地設定時(2001年)、および5年前(1996年)、10年前(1991年)の3時点間で累積年輪幅の大きさ順位をKendallの順位相関係数( $\tau$ )によって評価した。

データの解析にあたっては、SPSS 15.0J for Windows release 15.0.1J (SPSS Inc., 2007)を使用した。

### 2.3 結果

#### 1) グイマツ個体の成長と枯死

間伐後、6生育期間を経たグイマツ個体のdbh階別出現頻度分布は、いずれの処理区でも右側に推移したが(図-2-6)、とくに50%間伐区で大きく変化した。また、いずれの処理区でもdbhが大きいものほど肥大成長量が大きい傾向が認められた(表-2-1; 図-2-7)。一般線形モデルによって肥大成長量に対する処理の効果と期首dbhの効果进行分析したところ、処理と期首dbhの二つの変数が有意で、交互作用である処理×期首dbhは有意ではないという結果を得た(表-2-2)。そのため、有意とされた変数のみを用いてパラメータを推定したところ、各処理の効果については、パラメータ推定値(±標準誤差)の大きさ順位が、50%間伐区 > 25%間伐区 = 無間伐b区 > 無間伐a区という順番だった(表-2-3)。

表-2-1 ギイマツの期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての回帰分析結果

	係数	P	d.f.-adjusted R <sup>2</sup>	P
無間伐a区				
切片	-0.832	< 0.001		
期首dbh	0.270	< 0.001		
			0.379	< 0.001
無間伐b区				
切片	-	-		
期首dbh	0.236	< 0.001		
			0.801	< 0.001
25%間伐区				
切片	-	-		
期首dbh	0.219	< 0.001		
			0.831	< 0.001
50%間伐区				
切片	-	-		
期首dbh	0.347	< 0.001		
			0.919	< 0.001

表-2-2 ギイマツの期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての一般線形モデルによる分析結果

SS; タイプIII 平方和, *d.f.*; 自由度, *MS*; 平均平方, *R*<sup>2</sup>; d.f. - adjusted R<sup>2</sup>

	SS	d.f.	MS	F	P	R <sup>2</sup>
モデル	2308.176	8	288.522	462.320	< 0.0001	
処理	5.967	4	1.492	2.390	< 0.050	
期首dbh	118.450	1	118.450	189.802	< 0.0001	
処理×期首dbh	4.535	3	1.512	2.422	0.065	
誤差	354.474	568	0.624			
総和	2662.650	576				
						0.865

表-2-3 ギイマツの期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての一般線形モデルにおけるパラメータ推定値

変数	パラメータ	標準誤差	t値	P	95%信頼区間	
					下限	上限
無間伐a区	-0.677	0.161	-4.197	< 0.001	-0.995	-0.360
無間伐b区	-0.116	0.164	-0.710	0.478	-0.437	0.205
25%間伐区	-0.268	0.164	-1.631	0.103	-0.590	0.055
50%間伐区	0.796	0.170	4.690	< 0.001	0.463	1.130
期首dbh	0.251	0.018	13.827	< 0.001	0.216	0.287

この結果は、肥大成長に対する間伐の効果が、25%間伐区では認められず、50%間伐区で認められたことを示している。なお、再分析した際のモデルの自由度調整済みR<sup>2</sup>は0.864だった。

各処理区におけるギイマツ個体の枯死についてのdbh階別出現頻度分布(図-2-8)は、大きな個体の枯死は認めら

れず、小径階に偏る分布をしており、ほぼすべての処理区において枯死率-期首dbh関係はL字型分布をしていた。

2) 林分成長

25%間伐区と50%間伐区における間伐後6生育期間経た時点でのBA合計は、間伐前のBAよりも大きくなった(図-2



表-2-4 間伐後6生育期間中におけるグイマツのBA合計 (m<sup>2</sup>/ha) の増加量と増加率

期間	処理区			
	無間伐a区	無間伐b区	25%間伐区	50%間伐区
BA増加量 (m <sup>2</sup> /ha)				
上半期 (2001/2004)	5.93	4.97	7.25	6.05
下半期 (2004/2007)	2.60	2.66	3.68	4.83
全期間 (2001/2007)	8.52	7.63	10.94	10.88
△BA	-3.33	-2.31	-3.57	-1.22
BA増加率				
上半期 (2001/2004)	1.21	1.25	1.32	1.44
下半期 (2004/2007)	1.08	1.11	1.12	1.24
全期間 (2001/2007)	1.30	1.38	1.48	1.79

補記：△BA = (下半期のBA増加量) - (上半期のBA増加量)；BA増加率 = (期末年のBA合計) / (期首年のBA合計)。

表-2-5 処理を固定因子にしたときの期首年におけるグイマツの形状比とdbhの関係についての一般線形モデルによる分析結果

SS, タイプIII 平方和; *df.*, 自由度; *MS*, 平均平方; *R*<sup>2</sup>, d.f.-adjusted R<sup>2</sup>

	SS	<i>df.</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
修正モデル	5031.799	3	1677.266	51.750	< 0.001	
切片	23151.06	1	23151.06	714.300	< 0.001	
処理	1023.595	2	511.797	15.791	< 0.001	
期首dbh	4855.249	1	4855.249	149.803	< 0.001	
誤差	2074.294	64	32.411			
総和	219450.6	68				
修正総和	7106.093	67				0.694

表-2-6 期首年におけるグイマツの形状比とdbhの関係についての一般線形モデルにおけるパラメータ推定値

変数	パラメータ	標準誤差	t値	<i>P</i>	95%信頼区間	
					下限	上限
切片	97.123	3.577	27.151	< 0.001	89.977	104.269
無間伐a区	3.929	1.780	2.207	< 0.040	0.373	7.486
25%間伐区	10.527	1.933	5.447	< 0.001	6.666	14.389
50%間伐区	0.000	-	-	-	-	-
期首dbh	-5.620	0.459	-12.239	< 0.001	-6.537	-4.703

-9)。間伐後についてはBA合計の大きさの順位は6生育期間中でまったく変わらなかったが(図-2-9), 無間伐a区と無間伐b区は下半期のBA増加率が大きく低下し(表-2-4), 6生育期間中のBA合計の推移は頭打ちの傾向を呈していた。一方, 25%間伐区と50%間伐区を比較すると, 全期間を通してのBA増加量は両者で大きな差は認められなかったが, 上半期と下半期におけるBA増加量をそれぞれ両者間で比較すると, 上半期は25%間伐区が高かったものの, 下半期には順位が逆転し, 50%間伐区の方が高くなった(表-2-4)。

6生育期間中のBA合計の増加率の大きさは, 50%間伐区 > 25%間伐区 > 無間伐b区 > 無間伐a区という順番だった(表-2-4)。この大きさの順位は, 最初の3生育期間(2001年~2004年)と次の3生育期間(2004年~2007年)で変わらなかった。

### 3) 樹形の変化

試験地設定時(2001年)における形状比は, 処理区間で有意な差は認められたものの(表-2-5), いずれの処理区でもdbhが大きくなるにつれて小さくなる傾向があった(図-2-10)。このとき, 多くの個体は, さまざまな樹種におい

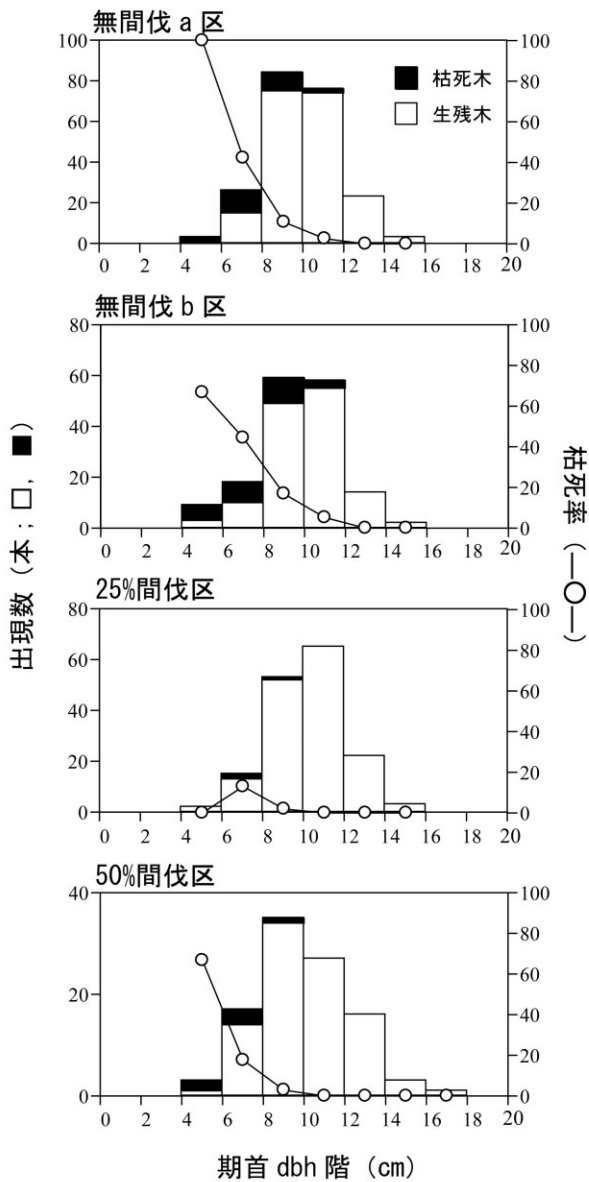


図-2-8 ギヤマツにおける期首dbh (2001年) と間伐後6生育期間内の枯死数・枯死率の関係期首dbhは2001年時の値。

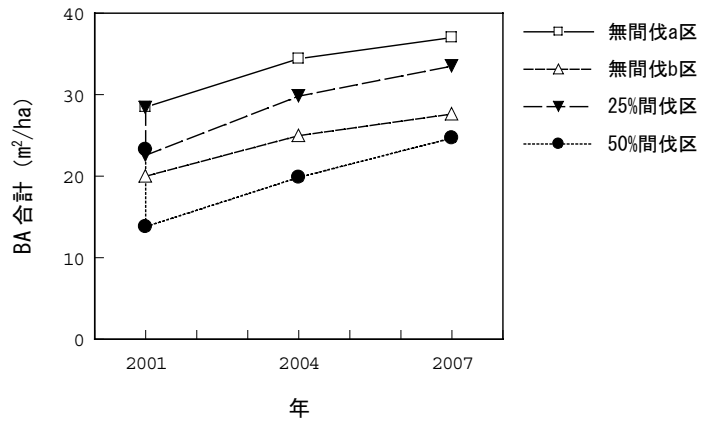


図-2-9 各処理区における試験地設定後6生育期間中(2001年~2007年)のBA合計の推移

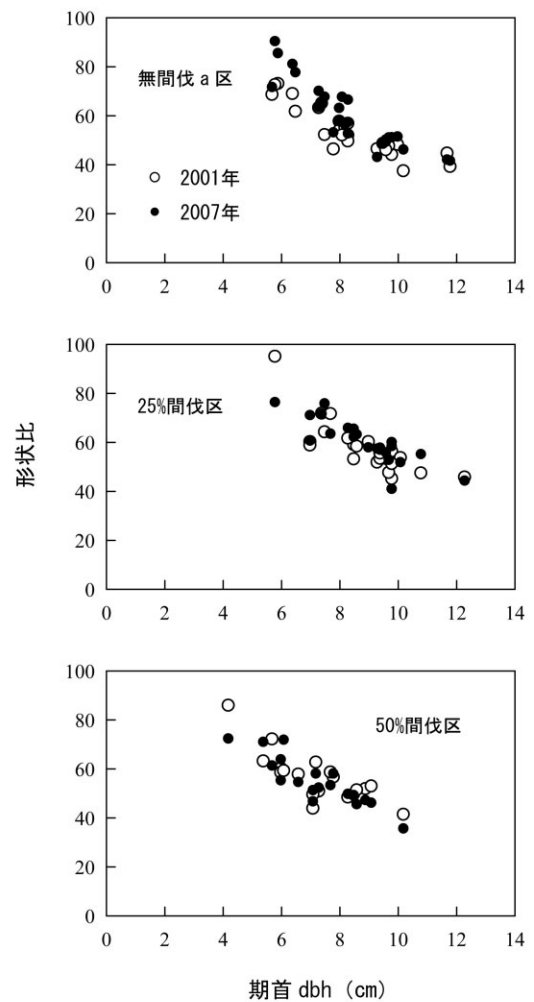


図-2-10 間伐後6生育期間中の形状比の変化期首dbhは2001年時の値。

て雪害や風害を受けやすいとされる70以上の範囲に入ること  
はなかった。この傾向は、2007年時でも同様だった（図-2-  
10）。なお、2001年時のdbh-形状比関係は、25%間伐区  
のパラメータ推定値が他の2つの処理区より大きかったものの、  
50%間伐区と無間伐a区との差異は大きいものではなかった（表  
-2-6）。25%間伐区において形状比-期首dbh曲線が全体的  
的に高い傾向にあるのは、上層高が高いことを反映している  
ものと推察される（図-2-4）。間伐後6生育期間中の形状  
比の変化については、無間伐a区では固定因子（年）が採用さ  
れたが、25%間伐区と50%間伐区では固定因子（年）は採用  
されなかった（表-2-7）。すなわち、無間伐a区では期首  
dbh-形状比関係が変化したが、25%間伐区と50%間伐区では

変化しなかったということである。

一方、間伐後、グイマツの $H_b$ は大きく変化した（図-2-  
11）。生枝下高の平均 $\Delta H_b$ （±標準偏差）は、無間伐a区が  
1.34m±0.42m、25%間伐区が1.26m±0.45m、50%間伐区が  
0.66m±0.50mで、いずれの処理区でも平均値レベルで枯上  
がりが進んでいたが、無間伐区と25%間伐区で大きい傾向があ  
った。期間中の $\Delta H_b$ は、一般線形モデルの分析結果、期首樹  
高は採用されず、処理、および期首 $H_b$ が採用された（表-2-  
8, 9, 10）。一般線形モデルによるパラメータの推定値は、  
期首 $H_b$ が負を示したことから（表-2-10）、 $\Delta H_b$ は期首 $H_b$   
が大きいほど小さかったことを示唆している（図-2-12）。  
また、各処理のパラメータ推定値（±標準偏差）の大きさ順

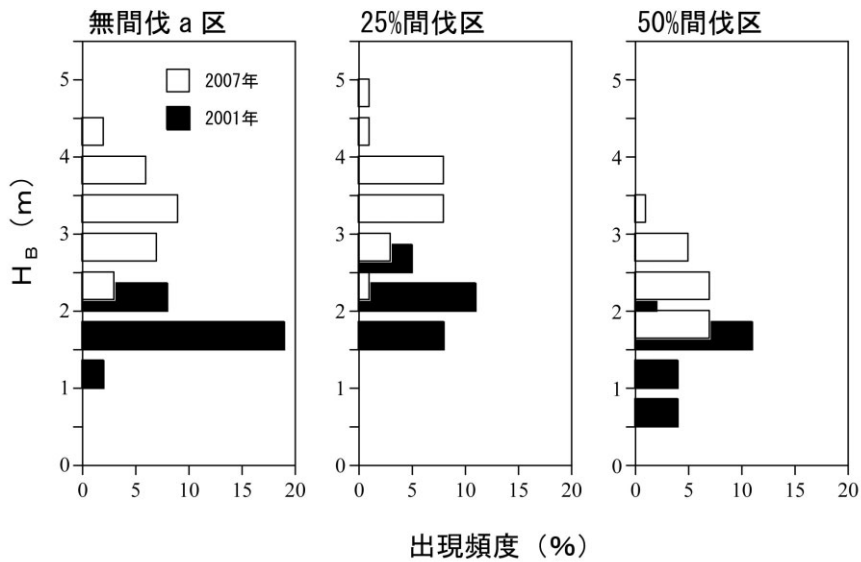


図-2-11 グイマツにおける期首 $H_b$ （2001年）と間伐後6生育期間後（2007年）の $H_b$ の出現頻度分布

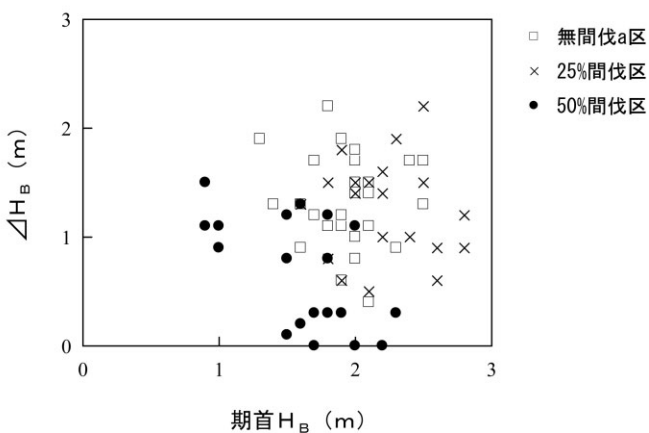


図-2-12 間伐後の枝の枯上がり長（ $\Delta H_b$ ）と期首 $H_b$ の関係  
無間伐b区は $H_b$ を測定していない。期首 $H_b$ は2001年時の値。

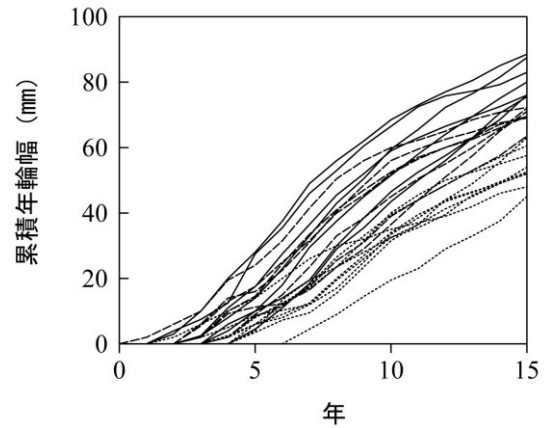


図-2-13 間伐試験地設定前までのグイマツ個体の肥大  
成長過程（ $n = 23$ ）

実線は円板採取時のdbhの大きさ上位7位以内の個体、破線  
は同8位～14位の個体、点線は15位以下の個体を表す。累積  
年輪幅は、樹皮なしdbhの1/2に相当。

表-2-7 年を固定因子にしたときのグイマツの形状比についての一般線形モデルによる分析結果  
 SS, タイプIII 平方和; *d.f.*, 自由度; *MS*, 平均平方;  $R^2$ , d.f.-adjusted  $R^2$

	<i>SS</i>	<i>d.f.</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	$R^2$
無間伐a区						
修正モデル	6104.223	2	3052.111	103.381	< 0.001	
切片	23309.52	1	23309.52	789.536	< 0.001	
年	459.118	1	459.118	15.551	< 0.001	
期首dbh	5645.105	1	5645.105	191.21	< 0.001	
誤差	1505.676	51	29.523			
総和	182605.2	54				
修正総和	7609.899	53				
						0.794
25%間伐区						
修正モデル	2872.843	2	1436.421	42.896	< 0.001	
切片	12977.51	1	12977.51	387.547	< 0.001	
年	55.604	1	55.604	1.661	0.205	
期首dbh	2817.239	1	2817.239	84.131	< 0.001	
誤差	1372.936	41	33.486			
総和	156810.6	44				
修正総和	4245.779	43				
						0.661
50%間伐区						
修正モデル	2555.238	2	1277.619	41.885	< 0.001	
切片	13542.42	1	13542.42	443.972	< 0.001	
年	26.444	1	26.444	0.867	0.358	
期首dbh	2528.793	1	2528.793	82.903	< 0.001	
誤差	1067.6	35	30.503			
総和	120794.5	38				
修正総和	3622.838	37				
						0.688

表-2-8 処理を固定因子にしたときのグイマツの枯上がり長 ( $\Delta H_b$ ) についての一般線形モデルによる分析結果  
 SS, タイプIII 平方和; *d.f.*, 自由度; *MS*, 平均平方;  $R^2$ , d.f.-adjusted  $R^2$

	<i>SS</i>	<i>d.f.</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	$R^2$
モデル	92.998	5	18.600	94.632	< 0.001	
処理	5.217	3	1.739	8.847	< 0.001	
期首HB	0.704	1	0.704	3.581	0.063	
期首樹高	0.011	1	0.011	0.058	0.811	
誤差	12.382	63	0.197			
総和	105.38	68				
						0.873

位は、無間伐a区 > 25%間伐区 > 50%間伐区となり、50%間伐区は、同じ期首 $H_b$ の個体どうしで比較したとき、他の2処理区よりも $\Delta H_b$ が小さい傾向があることが示唆された。

#### 4) グイマツの肥大成長経過

年輪判読によって得られた肥大成長過程を図-2-13に示す。本試験地のグイマツの肥大成長は、植栽直後の早い段階で優劣の差がはっきりとついており、5年生時の累積年輪

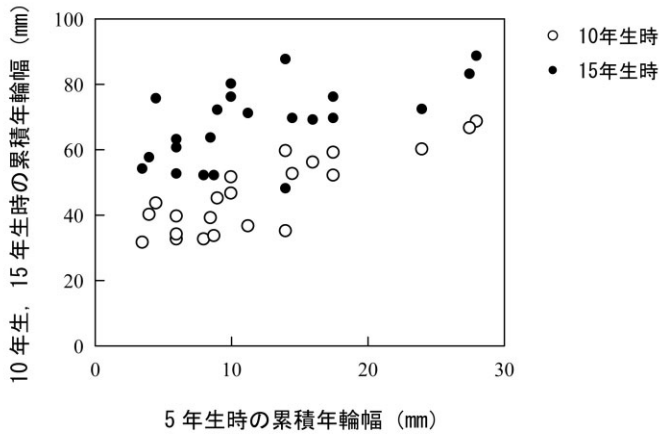


図-2-14 グイマツの肥大成長過程における累積年輪幅の年次間での対応関係

累積年輪幅は、樹皮なしdbhの1/2に相当。

幅は、10年生時だけでなく、間伐時である15年生時の累積年輪幅とも有意な高い正の相関関係が認められた(表-2-11; 図-2-14)。

2.4 考察

天売島の水源かん養保安林内に設定されたグイマツ林間伐試験により、グイマツ林に対する間伐効果の一端が明らかになった。

15年生グイマツ林における間伐後6生育期間の肥大成長量は、本数伐採率にして50%間伐が、無間伐や25%間伐よりも有意に大きい傾向があった(表-2-1; 図-2-7)。ただし、50%間伐区は、間伐試験地設定時においてすでに他の処理区よりも密度がわずかに低く、そのため枯上がり高も低い傾向にあったため(図-2-11)、個体間競争は、もともと他の処理区よりも緩かったという利点がある。しかし、今回、25%間伐区における個体の肥大成長量が無間伐の場合と

表-2-9 処理を固定因子にしたときのグイマツの枯上がり長(ΔH<sub>B</sub>)についての一般線形モデルによる分析結果(期首樹高を削除して再計算)

SS, タイプIII 平方和; *df.*, 自由度; *MS*, 平均平方; *R*<sup>2</sup>, d.f.-adjusted *R*<sup>2</sup>

	SS	<i>df.</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
モデル	92.986	4	23.247	120.043	< 0.001	
処理	8.040	3	2.680	13.840	< 0.001	
期首H <sub>B</sub>	0.784	1	0.784	4.047	0.048	
誤差	12.394	64	0.194			
総和	105.380	68				
						0.875

表-2-10 処理を固定因子にしたときのグイマツの枯上がり長についての一般線形モデルにおけるパラメータ推定値

変数	パラメータ	標準誤差	t値	<i>P</i>	95%信頼区間	
					下限	上限
無間伐a区	1.974	0.328	6.022	< 0.001	1.319	2.629
25%間伐区	1.985	0.375	5.295	< 0.001	1.236	2.733
50%間伐区	1.216	0.276	4.410	< 0.001	0.665	1.767
期首H <sub>B</sub>	-0.327	0.163	-2.012	0.048	-0.652	-0.002

表-2-11 グイマツの肥大成長過程における各年次の累積年輪幅の大きさ順位についてのKendallの順位相関分析結果

組み合わせ	順位相関係数 τ	<i>n</i>	<i>P</i>
5年生時 vs. 10年生時	0.642	22	< 0.001
10年生時 vs. 15年生時	0.649	23	< 0.001
5年生時 vs. 15年生時	0.415	22	0.007

大きく変わらず(表-2-3), また, 25%間伐区におけるBA増加量も, 上半期から下半期にかけて著しく低下して無間伐a区とほぼ同程度になり, 50%間伐区の約3倍に低下した(表-2-4)。さらに, 25%間伐区におけるBA合計の推移も, 2つの無間伐区ほどではないにしろ, 頭打ちになりつつあった(図-2-9)。これらの結果は, 一般的に行われている本数調整伐(下層間伐主体で材積比にして25%未満の伐採)では, 間伐効果がほとんどないことを強く示唆している。そのため, 保残木の肥大成長を促すためには, これまで以上の伐採率で間伐する必要があるだろう。今回の間伐試験結果は, 間伐後6生育期間のものではあるが, 1) 間伐後の死亡は小径階に偏る傾向があり, 林冠構成木にはまったく観られなかった(図-2-8)ことや, 2) 形状比が風雪害を受けやすいとされる70ラインを下回っていた(図-2-10), という2つの理由から, 16年生のグイマツ林に対しては, 本数率にして50%の全層間伐を施しても大きな問題はないと考えられる。

形状比については, グイマツの安全圏がどの程度であるのか, これまでのところ報告がないため, 安易に他の樹種と同様な値を用いることには注意が必要である。今回の間伐試験結果では, 25%間伐区と50%間伐区では形状比に変化は認められず, 無間伐a区においてのみ有意な増加が認められた(表-2-7; 図-2-10)。これらの結果は, 25%間伐区と50%間伐区では, 個体が樹高成長しても, 形状比が増大しない程度には肥大成長し, 一方, 無間伐a区では, 樹高成長に見合った肥大成長が認められなかったことを示している。つまり, グイマツの場合, 間伐しないと形状比が増大してしまうということである。25%間伐区と50%間伐区ではともに変化がなかったが, 枝の枯上がりについては, 無間伐a区だけでなく, 25%間伐区も50%間伐区より高く枯れ上がった(表-2-9; 図-2-11, 12)。この結果から, 25%間伐では間伐後すぐに間伐効果が消失してきていることを示しており, 近いうちに再び間伐が必要であると考えられる。

間伐試験に併せて採取したグイマツ個体の円板の年輪幅を解析したところ, 15年生時の大きさ順位は, すでに5年生時の大きさ順位と高い相関関係が認められた(表-2-11; 図-2-14)。これは, グイマツの個体間における優劣関係が, きわめて若いうちに決定していることを強く示唆している。グイマツの枯死率は小径階ほど高い傾向を示したが(図-2-8), これは被圧によって枯死しているものと考えられる。林齢が若いうちに枯死率が高くなる小径階の個体を対象にした強度の間伐を行うことで, 個体間競争を軽減し, 残存木の枝の枯上りの進行を抑制することも可能かもしれない。また, 小サイズならば, 伐採コストも低く抑えることができる。なお, この提案は, エゾイタヤ林の場合(第1章)と同様に全層間伐を否定するものではなく, 若い林分を対象にしたものである。

## 第3章 カシワ林

### 3.1 はじめに

北海道における天然生海岸林の多くはカシワが優占し, 低頻度出現樹種のエゾイタヤやハリギリ *Kalopanax septemlobus* (Thunberg ex Murray) Koidzumi が共存している場合が多い(e.g., 長谷川, 1984; 真坂ら, 2004)。海岸林の原植生がカシワ主体であるため, 海岸林を造成する際にはカシワが用いられることが多い。しかしながら, これまでは, 海浜という生育限界地域における生育状況を把握するため, 海岸林特有の風衝樹形や気象条件に着目した研究が多く(e.g., 浅井ら, 1986; 浅井・真坂, 1998; 新村ら, 1990; 薄井, 1990), 海岸林造成後の密度管理に関する研究はなかった。また, 内陸カシワ林の造林学的研究についても, 新島(1940)の研究があるのみで, 密度管理に関する研究はみられない。

カシワは典型的な陽樹であり, 天然林内に稚幼樹を観ることはきわめて稀である(長谷川, 1984; 真坂ら, 2004; 新島, 1940)。そして, 枯死が小径階に偏ることから, 被陰によって枯死しやすいことが推察される(真坂ら, 2004)。石狩浜の天然生カシワ海岸林では, dbh階別出現頻度が一山型の分布をしており, また, 樹齢もほぼ揃っている(長谷川, 1984)。これは, 石狩のカシワ海岸林が, 一斉更新したことを強く示唆しており, カシワが陽樹であることから推定される林分構造である。ただし, 一斉更新が起きた背景は, 一切不明である。

一斉更新ならば, 初期更新密度はかなり高かったと推察される。しかし, 実際には, どの程度の更新密度であったのかは一切不明であるため, 高密度人工林を密度管理なしに据え置いて良いかどうかは, 間伐試験を行い, 検証する必要がある。

### 3.2 調査地と調査方法

#### 1) 調査地

間伐試験地は, 2001年9月18日に, 釧路市音別町風連(旧音別町風連)のカシワ防霧林(16年生, 1985年植栽)に設定した(図-3-1)。林内の様子, および林外の様子をそれぞれ写真-3-1と写真-3-2に示す。この林分は, 列間は1m, 苗間1mの列状植栽で造成されたものであり, そのため原植密度は10,000本/haだったと推察される。

#### 2) 調査方法

この林分内に, 無間伐区, ならびに本数伐採率で30%間伐区と60%間伐区の3区画を設けた(図-3-2)。各処理区は不整形で, 面積は, 無間伐区が292.5m<sup>2</sup>, 30%間伐区が325m<sup>2</sup>, 60%間伐区が375m<sup>2</sup>である。植栽列は無間伐区が15列, 30%間伐区が13列, 60%間伐区が15列である。各処理区では, ナンバーテープによって個体を識別した後, dbhと樹高を測定

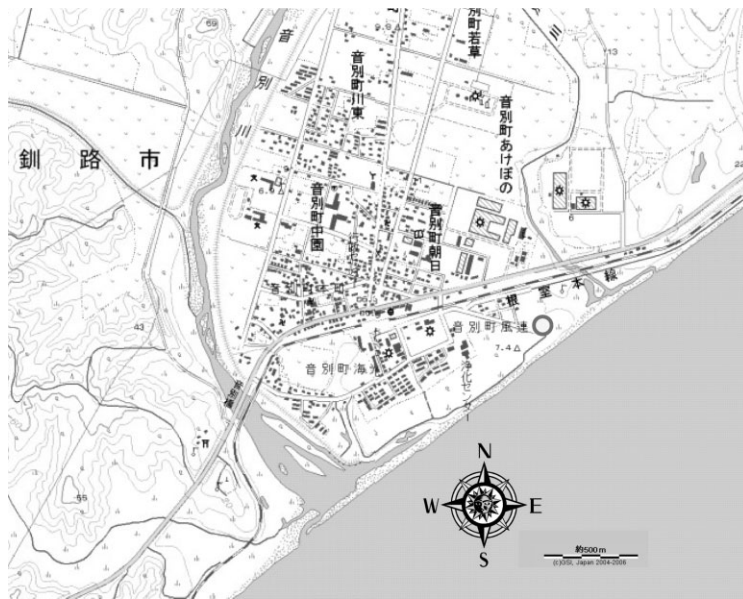


図-3-1 カシワ林間伐試験地の位置 (○印の位置)

国土地理院地図閲覧サービス<http://watchizu.gsi.go.jp>より作図。

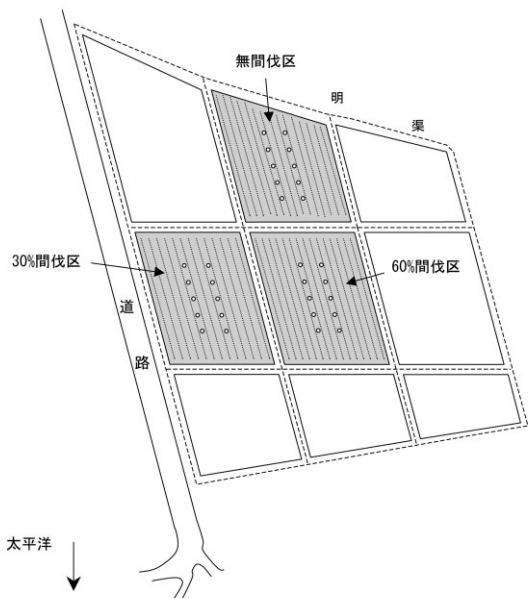


図-3-2 カシワ林間伐試験地の配置 (概略図)

植栽区は菱形をしており、高さ約1.8mの防風柵で囲まれ、さらに約1m深の明渠(破線)で囲まれている。灰色に着色された区画が処理区、点線は植栽列、○印は全天写真撮影地点を表す。撮影地点は10mライン上に等間隔で5点設ける。



写真-3-1 カシワ林間伐試験地の林外の様子

2008年3月12日撮影。手前に明渠が掘られている。木製防風柵はすでにほとんどが倒壊している。



写真-3-2 カシワ林間伐試験地の林内の様子

2001年9月21日撮影(60%間伐区の間伐直前)。

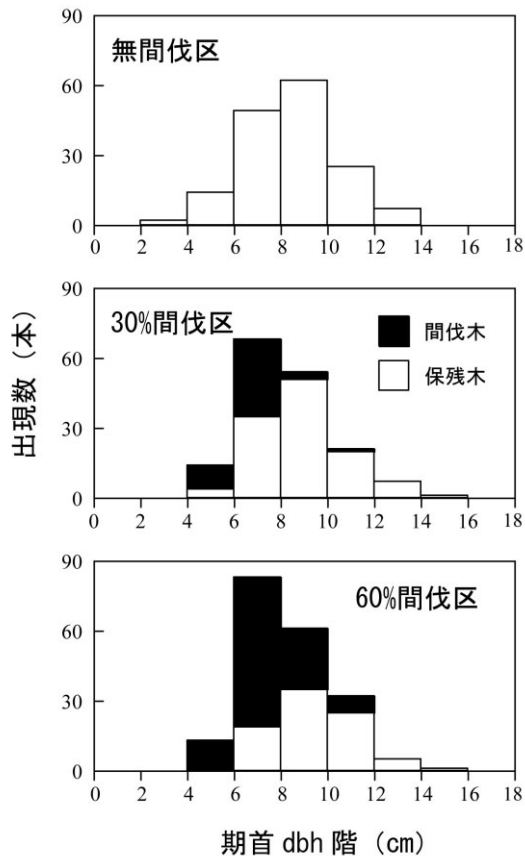


図-3-3 カシワ林間伐試験地における試験地設定時(2001年)のdbh階別出現頻度分布

した。このとき、枝が胸高位置よりも下から発生している場合は、それらの枝にもナンバーテープを付けて胸高位置において直径を測定した。このような枝は、複梢や萌芽枝とは性質が異なるため、 $([dbh_1/2]^2 + [dbh_2/2]^2 + \dots + [dbh_i/2]^2 + \dots)^{0.5} \times 2$ によって1本の幹のdbhとみなした ( $i = 1, 2, \dots$ , は幹の番号)。

間伐前の密度は、無間伐区、30%間伐区、60%間伐区においてそれぞれ、5435.9本/ha、5200.0本/ha、5076.9本/haである。間伐方法は全層間伐を目標としたが、被圧木も積極的に伐採したため、下層木に偏った間伐になった。間伐後、30%間伐区の密度は3630.8本/ha、60%間伐区は2266.7本/haに減少した。各処理区におけるdbh階別出現頻度分布、および、樹高階別出現頻度分布をそれぞれ図-3-3と図-3-4に示す。dbh、および樹高の頻度分布は、いずれの処理区も一山型を呈しており、階層構造は認められなかった。

各処理区における個体の成長量と生残状況を把握するため、間伐後3年目(2004年10月18日)と6年目(2007年10月3日)にdbhの再測定を行った。肥大成長量に対する間伐効果を検証するため、6生育期間(2001年~2007年)の肥大成長量(cm/6年)を従属変数、各処理を固定因子、そして期首dbhを共変量として一般線形モデルによる分析を行った。このとき、処理と期首dbhの交互作用の効果も併せて分析した。

間伐後の林分成長量を評価するため、間伐直前・直後、および間伐後の胸高断面積(BA; m<sup>2</sup>/ha)合計の推移を処理間で比較した。間伐後のBA合計の推移については、全期間(2001年~2007年)のBA増加量(=[2007年時のBA合計] - [間伐直後のBA合計])とBA増加率(=[期末年のBA合計] /

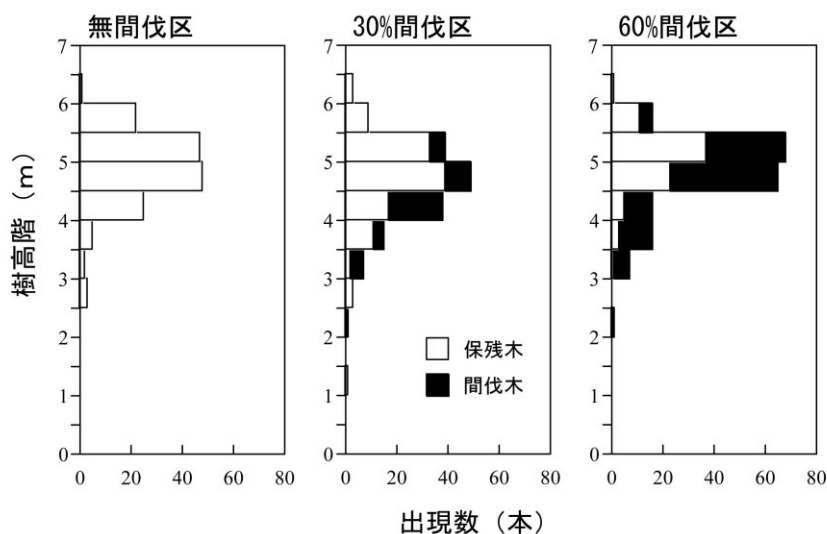


図-3-4 カシワ林間伐試験地における試験地設定時(2001年)の樹高階別出現頻度分布



表-3-1 カシワの期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての回帰分析結果

	係数	P	d.f.-adjusted R <sup>2</sup>	P
無間伐区				
切片	-	-		
期首dbh	0.178	< 0.001		
			0.617	< 0.001
30%間伐区				
切片	-	-		
期首dbh	0.267	< 0.001		
			0.766	< 0.001
60%間伐区				
切片	-	-		
期首dbh	0.731	< 0.001		
			0.202	< 0.001

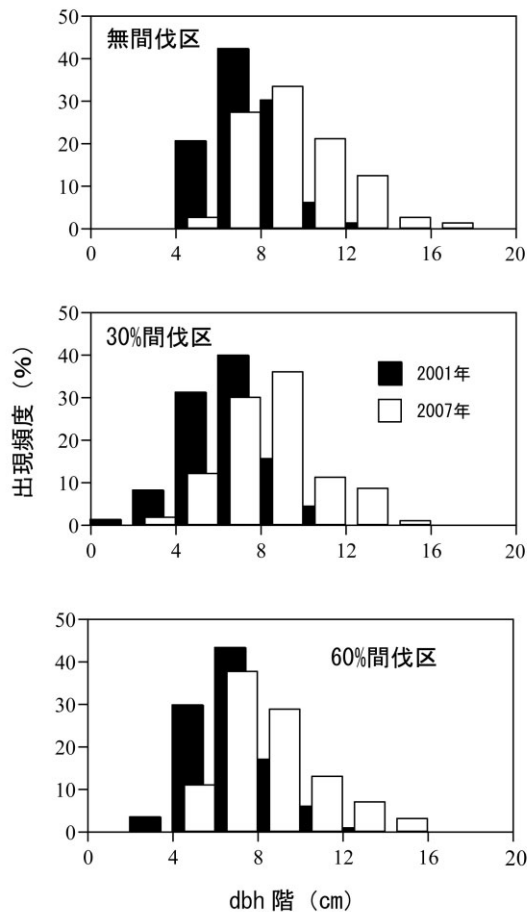


図-3-5 カシワにおける期首dbh (2001年) と間伐後6生育期間後 (2007年) のdbhの出現頻度分布

[期首年のBA合計]) だけでなく、間伐後の6生育期間を上半期 (2001年~2004年) と下半期 (2004年~2007年) に分け、それら2期間におけるBA増加量の変化量 ( $\Delta BA = [下半期のBA合計増加量] - [上半期のBA合計増加量]$ ), およびBA増加率によって評価した。

林冠閉鎖の度合いを処理間で比較するため、間伐直前と間伐直後、そして間伐後6年目に、植栽列間において魚眼レンズを用いて全天写真を撮影した。全天写真は、地上高1.3mの位置で撮影した。全天写真は、2001年についてはLIA32 (LIA for Win32; Yamamoto, 2005) によって林冠閉鎖度を解析した。2007年についてはGap Light Analyzer (Frazer *et al.*, 1999) によって開空度 (%) を解析し、100 - 開空度によって林冠閉鎖度とした。そして、それぞれの処理区において林冠閉鎖度の平均値を求めて、これを各処理区の平均林冠閉鎖度とした。

間伐試験地設定時までの成長経過を観察するため、間伐時にカシワ25個体の胸高位置から円板を採取し、実験室に持ち帰って年輪幅 (4方向) を測定した。そして1991年時 (7年生時), 1996年時 (12年生時), 2001年時 (17年生時) の3時点における各個体の累積年輪幅の大きさ順位を、Kendallの順位相関分析によって評価した。

データの統計処理にあたっては、SPSS 15.0J for Windows release 15.0.1J (SPSS Inc., 2007) を使用した。

### 3.3 結果

#### 1) カシワ個体の成長と枯死

間伐後、6生育期間を経たカシワ個体のdbh階別出現頻度分布は、いずれの処理区でも一山型のまま右側に推移した (図-3-5)。また、いずれの処理区でも、dbhが大きいものほど肥大成長量大きい傾向が認められた (表-3-1; 図-3-6)。肥大成長量に対する一般線形モデル分析の結果、モデルは期首dbhを有意とし、処理、および交互作用の2変数は

表-3-2a カシワの期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての一般線形モデルによる分析結果  
SS, タイプIII 平方和; *d.f.*, 自由度; *MS*, 平均平方; *R*<sup>2</sup>, d.f.-adjusted R<sup>2</sup>

	SS	<i>d.f.</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
モデル	780.854	6	130.142	129.073	< 0.0001	
処理	3.922	3	1.307	1.297	0.276	
期首dbh	54.238	1	54.238	53.792	< 0.0001	
処理×期首dbh	0.159	2	0.080	0.079	0.924	
誤差	295.428	293	1.008			
総和	1076.283	299				
						0.720

表-3-2b カシワの期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての一般線形モデルによる再分析結果  
SS, タイプIII 平方和; *d.f.*, 自由度; *MS*, 平均平方; *R*<sup>2</sup>, d.f.-adjusted R<sup>2</sup>

	SS	<i>d.f.</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
モデル	780.695	4	195.174	194.786	< 0.0001	
処理	26.106	3	8.702	8.685	< 0.0001	
期首dbh	56.169	1	56.169	56.057	< 0.0001	
誤差	295.588	295	1.002			
総和	1076.283	299				
						0.722

表-3-3 カシワの期首dbhと間伐後6生育期間における肥大成長量の関係についての一般線形モデルにおけるパラメータ推定値

変数	パラメータ	標準誤差	t値	<i>P</i>	95%信頼区間	
					下限	上限
無間伐区	-0.674	0.274	-2.460	< 0.002	-1.214	-0.135
30%間伐区	-0.509	0.278	-1.835	0.068	-1.056	0.037
60%間伐区	-0.010	0.294	-0.035	0.972	-0.589	0.568
期首dbh	0.268	0.036	7.487	< 0.0001	0.198	0.339

表-3-4 間伐後6生育期間中におけるカシワのBA合計 (m<sup>2</sup>/ha) の増加量と増加率

期間	処理区		
	無間伐区	30%間伐区	60%間伐区
BA増加量 (m <sup>2</sup> /ha)			
上半期 (2001/2004)	2.36	2.81	3.22
下半期 (2004/2007)	2.06	2.22	3.01
全期間 (2001/2007)	4.42	5.03	6.23
ΔBA	-0.30	-0.59	-0.20
BA増加率			
上半期 (2001/2004)	1.12	1.19	1.31
下半期 (2004/2007)	1.09	1.13	1.22
全期間 (2001/2007)	1.22	1.34	1.60

表-3-5 カシワの肥大成長過程における各年次の累積年輪幅の大きさ順位についてのKendallの順位相関分析結果

組み合わせ	順位相関係数 $\tau$	n	<i>P</i>
1991年時 vs. 1996年時	0.519	19	< 0.002
1996年時 vs. 2001年時	0.831	25	< 0.001
1991年時 vs. 2001年時	0.500	19	< 0.003

補記: ΔBA = (下半期のBA増加量) - (上半期のBA増加量); BA増加率 = (期末年のBA合計) / (期首年のBA合計).

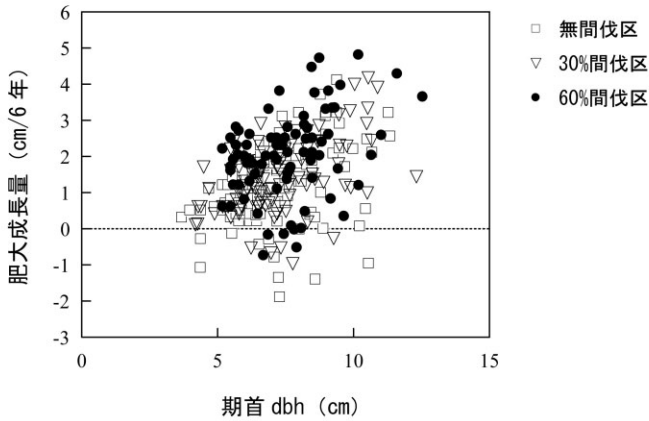


図-3-6 カシワにおける期首dbh (2001年) と間伐後6生育期間中 (2001年~2007年) の肥大成長量の関係

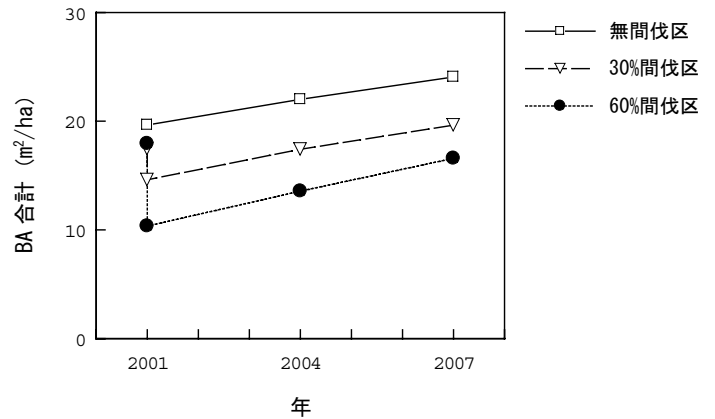


図-3-8 各処理区における試験地設定後6生育期間中 (2001年~2007年) のBA合計の推移

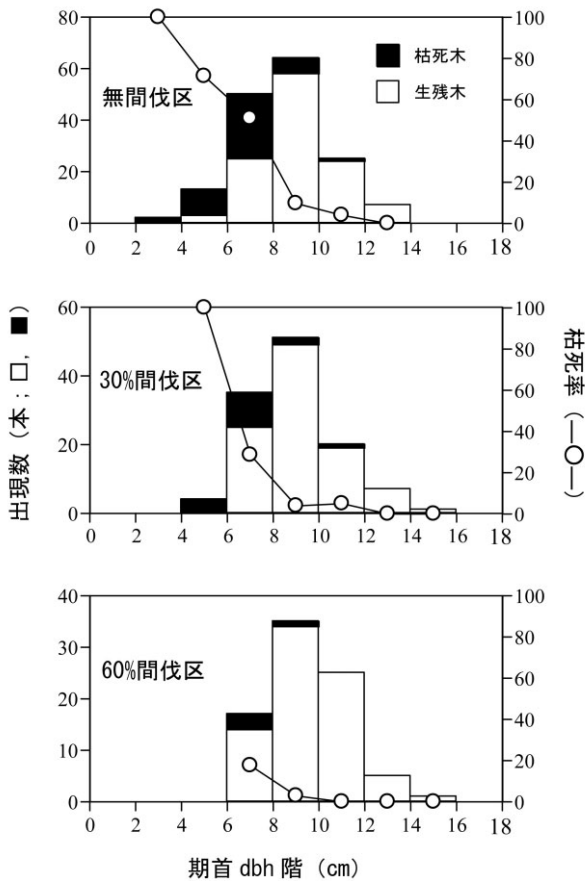


図-3-7 カシワにおける期首dbh (2001年) と間伐後6生育期間内の枯死数・枯死率の関係

有意とはならなかった (表-3-2)。そこで、P値の大きな変数から順次削除して再計算すると、処理と期首dbhの2変数が有意であるという結果になった (表-3-3)。再計算によって得られたモデルにおけるパラメータ推定値 (±標準誤差) の大きさ順位は、60%間伐区 > 30%間伐区 > 無間伐区だった (ただし、60%間伐区 > 無間伐区) (表-3-4)。なお、肥大成長量が負の値を示している個体が多く観られるが (図-3-6)、これは胸高位置より下方に着生していたナンバリングした枝が (調査方法参照)、調査期間中に枯死したためである。

間伐後6生育期間中の枯死は、いずれの処理区でも認められたが、枯死数は無間伐区 > 30%間伐区 > 60%間伐区の順で多かった (図-3-7)。このとき、60%間伐区での枯死数は4個体だけで、無間伐区 (44個体) の1/10に満たなかった。無間伐区と30%間伐区における枯死率-dbh階曲線はL字型分布をしており (図-3-7)、小サイズのものほど死亡率が高い傾向を示した。

## 2) 林分成長

間伐後のBA合計は、6生育期間経た時点において、30%間伐区は間伐前のBA合計を越えたものの、60%間伐区ではまだ間伐前のBA合計に達していなかった (図-3-8)。しかし、BA増加量、およびBA増加率は、3つの処理区の中で全期間を通して60%間伐区がもっとも大きく、とくにBA増加量は無間伐区の約1.4倍にも及んだ (表-3-4)。6生育期間を上半期 (2001年~2004年) と下半期 (2004年~2007年) に分けると、BA増加量は、いずれの処理区も下半期のBA増加量が上半期のBA増加量より低下した。このとき、30%間伐区における $-0.59\text{m}^2/\text{ha}$ もの低下量 ( $\Delta\text{BA}$ ) は、60%間伐区の約3倍 ( $-0.20\text{m}^2/\text{ha}$ ) にも達し、また無間伐区 ( $-0.30\text{m}^2/\text{ha}$ ) の約2倍にもなった。一方、60%間伐区における下半期のBA増加量は、無間伐区、および30%間伐区における上半期のBA増加量よりもまだ大きい値となった。BA増加率についても、60%間伐区

における下半期の値は、無間伐区、および30%間伐区における上半期のBA増加率よりも大きい値だった。

### 3) 林冠閉鎖の推移

間伐直前の平均林冠閉鎖度は80%台で、林冠層が十分に閉鎖している状態だったといえる(図-3-9)。間伐直後、30%間伐区では78.6%±6.0%(平均値±標準偏差)に、60%間伐区では70.1%±9.0%まで低下した。間伐後、6生育期間経た時点において、いずれの処理区もほぼ同じ程度の林冠閉鎖状態となった。ただし、30%間伐区は、試験地を囲む防風柵が倒壊し、林外からの光が入る状況になっているため、林冠閉鎖度を過小評価していることに注意が必要である(写真-3-3参照)。また、60%間伐区では、林冠層にまだ大きな疎開部が存在する場所が認められた(写真-3-3)。

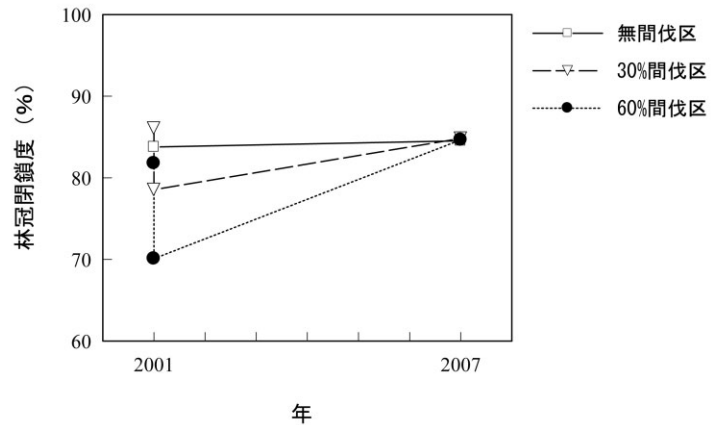


図-3-9 各処理区における試験地設定後6生育期間中(2001年~2007年)の林冠閉鎖度の推移

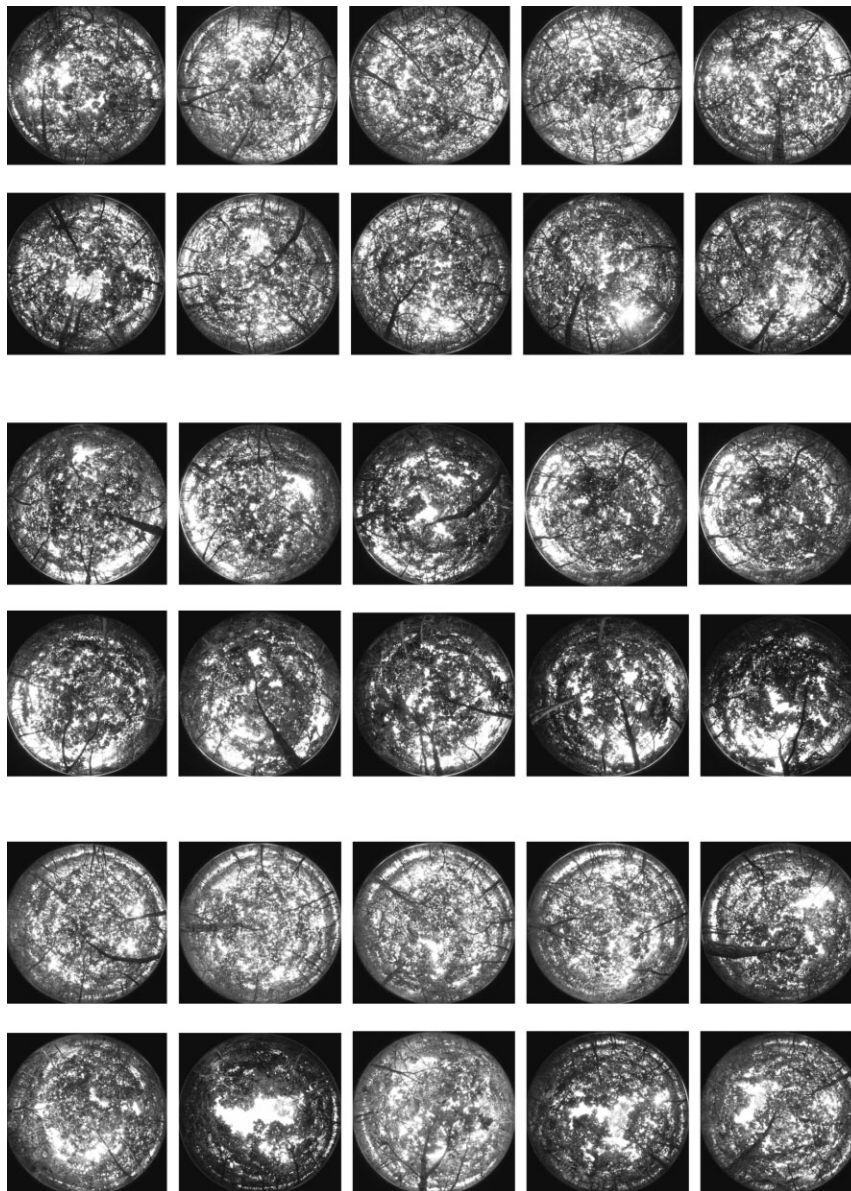


写真-3-3 カシワ林間伐試験地における全天写真

上段10枚は無間伐区、中段10枚は30%間伐区、下段10枚は60%間伐区。2007年10月4日撮影。30%間伐区は林縁の防風柵が倒壊して明るくなっていることに注意。

4) カシワの肥大成長経過

採取した円板の年輪判読によって得られた肥大成長過程を図-3-10に示す。本試験地のカシワの累積年輪幅は、1991年時、1996年時、そして2001年時の3時点間で有意な正の相関関係を示した(表-3-5; 図-3-11)。

3.4 考察

高密度植栽された16年生のカシワ林に対する間伐効果も、イタヤカエデ(第1章)やグイマツ(第2章)と同様に、本数伐採率にして60%という強度の間伐率で有意に肥大成長量が大きくなり(表-3-1, 2, 3; 図-3-6), BA増加量やBA増加率も大きい傾向が認められた(表-3-5)。このとき、肥大成長量が負の値を示した個体は、複幹の一部や大枝が枯死したことに起因するが、一般線形モデル分析における処理のパラメータ推定値が無間伐区と30%間伐区で負を示したのは(表-3-3), これらの処理区で複幹の一部や大枝が多数枯死したことを示唆している。

一方、30%間伐の肥大成長量は、パラメータ推定値が有意であるとはいえ、無間伐区とのあいだには大きな差が認められなかった(表-3-3)。加えて、30%間伐区では、間伐後3生育期間後には間伐前のBA合計に達した(図-3-8)。そして、上半期(2001年~2004年)のBA増加量に比して下半期(2004年~2007年)のBA増加量が、無間伐区や60%間伐区よりも著しく低下していた(表-3-4)。そのため、30%間伐による間伐効果は小さかったと考えて差支えないだろう。また、30%間伐区における調査期間中の枯死数が、無間伐区より少ないとはいえ、60%間伐区の約4倍にも及んでいたことも(図-3-7参照), 30%という間伐率が、カシワ林に対して大きな間伐効果をもたらさなかった傍証になるだろう。

これらの結果は、通常行われている材積率にして25%程度の下層間伐では、カシワ林に対して、なおさら間伐効果をもたらさないことを強く示唆している。

一方、60%間伐区では、BA合計が間伐後6生育期間を経た時点においてもなお、間伐直前のBA合計に達していなかった(図-3-8)。林冠閉鎖度が間伐後6生育期間で他の処理区と同程度まで閉鎖したとはいえ(図-3-9), 林冠層にはまだ一部に大きな疎開部が観られ(写真-3-3), また、下半期(2004年~2007年)のBA増加量が、無間伐区の1.4倍にも及び(表-3-4), それゆえ間伐効果が消失するまでにまでには、まだ時間がかかるものと推察される。60%間伐区における間伐効果の持続時間については、今後も継続して調査を行い、確認する必要がある。

年輪幅の計測によって、カシワの肥大成長履歴を評価したところ、試験地設定時(2001年, 16年生時)における累積年輪幅は、5年前の1996年時、および10年前の1991年時の累積年輪幅と有意な正の相関が認められた(表-3-5)。この結果は、植栽後の早い時期に、すでに個体間でサイズの優劣関係がほぼ出来上がっており、林分の成長過程においてサイズの大きさ順位を大きく変えることなく、個々の個体が成長していることを強く示唆している。枯死の多くは小径階で発生していることから(図-3-7), 間伐方法としては、生育環境の厳しさから植栽木が淘汰されて林冠が疎開している林分でなければ、比較的早い時期にサイズが小さい個体を中心に、強度の間伐をすることが肝要であろう。なお、この提案は、エゾイタヤ林やグイマツ林の場合(第1章, 第2章)と同様に全層間伐を否定するものではなく、下層間伐が効果を持たないほどに階層構造が発達する前の若い林分を対象にしたものである。また、今回得られた結果は、16年生の林分に

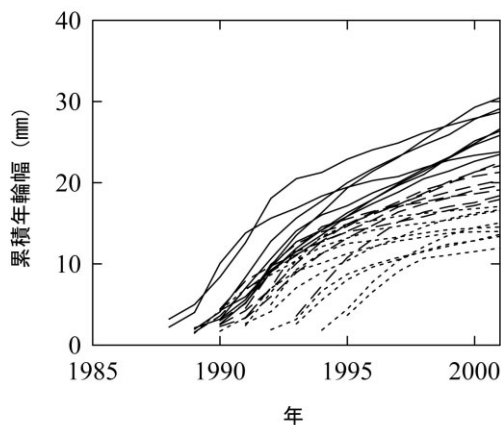


図-3-10 間伐試験地設定前までのカシワの肥大成長過程 (n = 25)

実線は円板採取時のdbhの大きさ上位8位以内の個体, 破線は同9位~16位の個体, 点線は17位以下の個体を表す。累積年輪幅は、樹皮なしdbhの1/2に相当。

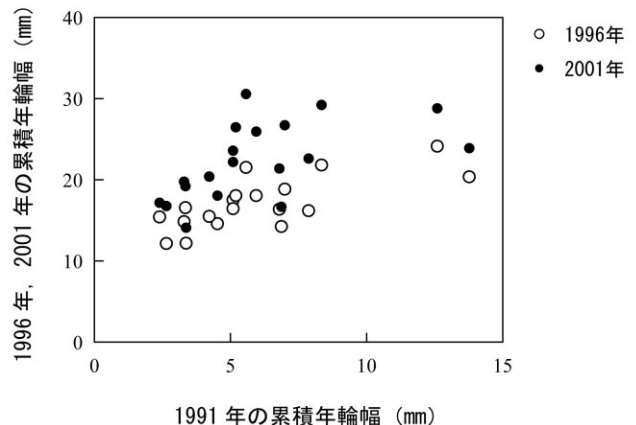


図-3-11 カシワの肥大成長過程における累積年輪幅の年次間での対応関係

累積年輪幅は、樹皮なしdbhの1/2に相当。

対して間伐を行った結果である。一般に、高齢になってから林冠を疎開させても、すでに枯上がりが進行しているため樹冠の発達がほとんど促されず、間伐効果はほとんど期待できない。カシワ人工林の場合の間伐効果が表れる限界林齢については、今後、林齢を異にする林分を対象にした間伐試験を行って検証する必要である。

## 第4章 総括

### 4.1 どの程度の間伐強度が必要か？

本研究で間伐試験を行った、原植密度が10,000本/haという羽幌町天売のエゾイタヤ林(19年生)とグイマツ林(14年生)、そして釧路市音別町のカシワ林(16年生)では、いずれも現行の本数調整伐の伐採率(材積伐採率25%)に近い間伐率(本数伐採率で25%~30%)では、肥大成長や林分成長、さらには樹形に対する間伐効果がほとんど期待できないことが明らかになった。今回の結果は、若い林分では個々の個体の成長、あるいは樹形を改善するためには、現行以上の強度の間伐が必要であることを強く示唆している。これまでも、道北地方における20年生のダケカンバ二次林(II等地、約6,000本/ha)では、肥大成長に対する間伐効果を期待するのであれば、密度を1,500本/ha~3,000本/haに落とすように間伐するのが適当という報告がある(真坂, 2000)。これはちょうど、間伐率50%~75%に相当する。また、日高町富川の若齢クロマツ海岸林(6年生)に対する間伐効果も、本数伐採率にして30%の間伐では認められず、60%間伐で認められている(真坂ら, 2001)。今回の間伐試験でも、本数伐採率にして最大50%~60%の間伐を施したところ、いずれの林分でも肥大成長の有意な改善が認められ(図-1-6、図-2-7、図-3-6)、しかも間伐効果は、間伐後6生育期間経た時点でも持続していた(表-1-4、表-2-4、表-3-4)。また、グイマツでは枝の枯上がりも有意に抑制された(表-2-9、10、図-2-12)。

しかし、これまで高密度保安林に対して強度の間伐が行われなかった背景には、林冠層に大きな疎開部が生じることで、保残木がなんらかの気象害を被ることが危惧されたためである(坂本, 2006)。たとえば、鳥田(2006)は、十勝地方の防風保安林において発生した台風による風害を解析し、21~30年生の林分で風害を受けやすかったことを明らかにしたが、それは、間伐後の経過年数が浅く、間伐後の肥大成長(根系伸長)が不十分な時期に台風に遭遇したためであろうと考察している。しかし、適正な間伐を行わなければ気象害に遭いやすいのもまた事実である(e.g., 鳥田, 2006; 鳥田・武田, 2007)。今回、エゾイタヤ林とカシワ林では本数伐採率にして60%、そしてグイマツ林では50%という強度の間伐を施したが、間伐後6生育期間において、気象害由来と考えられる上層木の

枯死は認められなかった(図-1-7、図-2-8、図-3-7)。もちろん、今回の3事例をもって、ただちに他の林分すべてにあてはめることができるわけではないし、また今回は、調査期間中にたまたま風害が発生するほどの強風がなかった可能性もあるだろう。しかし、一般に、風圧による根返りや幹折れは、風心高(荷重点の高さ)や対風面積(樹冠などの風を受ける部分の面積)に比例すると言われている(鳥田, 2006)。これは、若齢で小サイズの個体が、大サイズの個体に比べて根返りや幹折れなどの風害を受けにくいことを意味している。今回対象とした林分は、若齢でかつ、生育環境が厳しいことにより樹高成長も抑制されている。それゆえ、かえって風害を受けにくい林分であるともいえ、間伐のもっとも好適な時期と考えられる。

### 4.2 間伐効果の持続期間

間伐効果の持続期間については、次回間伐を検討するための重要な情報である。間伐期間の持続期間としては、林冠閉鎖の程度や、個体および林分成長量によって評価できるだろう。広葉樹林であるエゾイタヤ林とカシワ林で本数伐採率にして60%という強度間伐を行った場合、立地や林齢が異なるために単純に比較はできないが、エゾイタヤ林では間伐後6生育期間経た時点において、林冠はまだ十分に閉鎖していなかったものの(図-1-9、写真-1-2)、カシワ林ではほとんど閉鎖してしまった(図-3-9、写真-3-3)。それゆえ、エゾイタヤ林はカシワ林と比較して、まだ今後も十分に個体が肥大成長できる状況にあると推察される。また、BA合計の増加量を、間伐後6生育期間を上半期と下半期に分けて期間間で比較すると、エゾイタヤ林ではまだ増加傾向にあったが(表-1-4)、カシワ林では無間伐区ほどではないとはいえ、減少傾向に転じていた(表-3-4)。これらの結果は、エゾイタヤはカシワよりも、光環境の改善に対する応答が遅いことを示唆している。つまり、エゾイタヤ林における間伐間隔は、カシワ林における間伐間隔よりも長くとることができることを示唆している。逆に考えると、カシワ林はエゾイタヤ林より細やかな密度管理が必要ということである。

一方、グイマツ林の50%間伐区は、BA合計の増加量の上半期と下半期での変化量( $\Delta$ BA)が、25%間伐区の約1/3であり(表-2-4)、まだ今後も肥大成長に対する間伐効果が持続すると予想される。ただし、グイマツ林では、間伐後6生育期間経た時点でも林床植生の発達は認められなかった(写真-2-2)。本試験地に限らず、下層植生の発達がみられないグイマツの保安林は多数存在する。近年は、森林内における生物多様性についての社会的関心がさきわめて高いため、林床植生の多様性に配慮するのであれば、さらに強度の間伐を施すか、あるいは次回間伐までの間隔を短くする必要がある。しかし、間伐間隔を短くすることは、間伐回数を増やす

ことにもつながるため、施業コストの低減にも配慮するのであれば、間伐間隔の短縮よりはむしろ、間伐強度で対処することになるだろう。

以上の知見は、羽幌町天売のエゾイタヤ林とグイマツ林、そして釧路市音別町のカシワ林で行った間伐試験の7年間(6生育期間)の調査データをもとに得られたものである。高密度植栽された保安林の密度管理技術を確立するためには、今後もこれらの間伐試験地を追跡調査するとともに、調査事例を集積する必要がある。また、日高や胆振、渡島、檜山地域にはクロマツ *Pinus thunbergii* Parlat. 海岸林が造成されているが、これらの保安林についても間伐効果を検証し、保育方法を検討する必要がある。

## 引用文献

- 浅井達弘・真坂一彦 (1998) 北海道北部の天然生カシワ海岸林の現存量および純生産量. 北海道林業試験場研究報告 35: 11-19.
- 浅井達弘・新村義昭・薄井五郎 (1986) 北海道北部の天然生カシワ・ミズナラ海岸林の冬芽枯死の原因. 日本林学会誌 68: 368-374.
- Farnsworth EJ, Ellison AM (1996) Sun-shade adaptability of the red mangrove, *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): changes through ontogeny at several levels of biological organization. *American Journal of Botany* 83: 1131-1143.
- Frazer GW, Canham CD, Lertzman KP (1999) Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, New York.
- 橋場 功・市川 勉・武田 勇 (1984) イタヤの人工林. 北方林業36: 261-264.
- 長谷川 榮 (1984) 北海道における天然生海岸林の保全に関する基礎的研究—石狩海岸林におけるカシワ林の構造と更新—. 北海道大学農学部演習林研究報告41: 313-428.
- 北海道林務部・北海道林木育種協会 (1987) ハイブリッドカラマツ造林の手引き—グイマツ雑種F<sub>1</sub>—. 北海道林業改良普及協会, 札幌.
- 飯田宇之磨 (1991) 松前小島の森林復元の試み. 北方林業43: 209-213.
- 石倉信介・島山末吉 (1982) 先枯病に強いチシマ系グイマツ. 光珠内季報51: 1-5.
- 金子智紀・石田秀雄・金澤正和 (2000) 秋田県沿岸南部におけるクロマツの冠雪害について. 東北森林科学会誌 5: 97-100.
- 菊沢喜八郎 (1983) 北海道の広葉樹林. 北海道造林振興協会, 札幌.
- Koike T (1989) Leaf structure and photosynthetic performance as related to the forest succession of deciduous broad-leaved trees. *Plant Species Biology* 3: 77-87.
- 真坂一彦 (2000) ダケカンバ二次林の間伐適期と間伐適正密度. 光珠内季報120: 8-11.
- 真坂一彦・佐藤 創・明石信廣・福地 稔 (2001) クロマツ海岸林, どれだけ伐ったらいいの?—間伐試験結果から定量的間伐方法への提案—. 北方林業53: 265-268.
- 真坂一彦・佐藤 創・明石信廣・浅井達弘 (2004) 北海道北部におけるカシワ海岸林の動態. 日本生態学会誌54: 1-9.
- 松井善喜・松崎清一 (1957) イタヤ林の経営について. 林業試験場北海道支場業務報告 特別報告 8: 81-110.
- 坂本知己 (2006) クロマツ海岸林の本数調整伐にともなう不安について. 山林1468: 28-36.
- 新島善直 (1940) カシハの造林学的研究. 北海道林業試験場研究報告13: 1-112.
- 新村義昭・浅井達弘・薄井五郎 (1990) 北海道北部天然生海岸林でのカシワ・ミズナラの芽吹き様式と生育環境との関係. 日本林学会誌72: 478-487.
- 高橋延清・西口親雄・飯塚徳義 (1966) カラマツ属の耐鼠性育種. 林木の育種36: 2-5.
- 鳥田宏行 (2006) 2002年台風21号により北海道十勝の防風保安林に発生した風害の要因解析. 日本森林学会誌88: 489-495.
- 鳥田宏行・武田一夫 (2007) 雨水害を受けたカラマツ人工林における林分構造と被害率の関係. 日本森林学会誌89: 39-44.
- 薄井五郎 (1990) 海風環境下における天然生樹木の生態と砂防的応用. 北海道林業試験場研究報告28: 1-53.
- 渡邊定元 (1994) 樹木社会学. 東京大学出版会, 東京.
- Yamamoto K (2005) <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/>

## Summary

We demonstrated the thinning effect for densely planted young protected forest composed of *Acer pictum* ssp. *mono* (Maxim.) Ohasi, *Larix gmelinii* var. *japonica* Pilger or *Quercus dentata* Thunb. in Hokkaido, northern Japan. In each stand, we set up intensively-thinned plot (50%-60% in density were removed), slightly-thinned plot (25%-30% were removed) and control plot (no individuals were removed). The multi-layered thinning was intended in the present study. We could find significant improvement in radial growth (m/6 yr.) after thinning in all intensively-thinned plots, and ratio of BA increment was always higher than slightly-thinned plot and control plot. In addition, change in sum of BA (m<sup>2</sup>/ha) and canopy closure (%) during study period would lead us to expect that thinning effect would persist

for years onward. By contrast, no significant improvement in radial growth or low ratio of BA increment was observed in some slightly-thinned plots. Higher mortality and slowdown of BA increment ( $m^2/ha$ ) during study period suggested that the thinning effect in slightly-thinned plots was quite less than intensively-thinned plots. In addition, we have investigated natural pruning of living branches and slenderness of trunk in *Larix* stand, and we also observed no significant difference in the tree form between slightly-thinned plot and control plot. These results strongly suggest that we can not expect any thinning effects by usual thinning procedure (25%-30% in density were removed) irrespective of multi-layered thinning. If we could observe some thinning effects by usual thinning procedure, the duration would be quite short; at most around 3 years. By analyzing tree-ring width growth trajectory, we found that ranking in size would be clearly determined just after planting. Therefore, we may propose intensive thinning, especially focuses on the smaller trees, for densely planted stands in the earlier stage as long as the serious reduction in density caused by severe environment is not observed.

**Keywords:** thinning effect, thinning test, densely planted stand, protected forest, density control