

## ウダイカンバ二次林での間伐効果と樹冠衰退

渡辺一郎\*・寺澤和彦\*・八坂通泰\*・梅木 清\*

Thinning effect and crown dieback in a mature secondary stand  
of *Betula maximowicziana* established after fire

Ichiro WATANABE\*, Kazuhiko TERAZAWA\*,  
Michiyasu YASAKA\* and Kiyoshi UMEKI\*

### 要 旨

林齢約70年生の山火再生林由来のウダイカンバ二次林に対して実施した間伐の15年後における効果と、樹冠衰退木の発生状況について調査した。間伐試験は、材積間伐率で、弱度間伐(10.2%)、中度間伐(25.5%)、強度間伐(46.8%)の3段階の強度で実施した。

林分純成長量は、間伐前(1971~1983年)に比べて、間伐後(1985~1999年)の方が小さかった。枯損量は間伐前後でそれほど変わらず、粗成長量が小さくなった。間伐後の直径成長量は強度間伐区で最も大きかったが、年平均成長量は0.14cmと小さかった。枯死木の発生数が間伐により減少したにもかかわらず、枯損量が間伐前後でかわらないのは、間伐後に平均直径以上の個体の枯死が増えたためだと考えられた。

これらのことから、林齢約70年生のウダイカンバ二次林へ対する間伐効果は小さいと考えられた。

本林分では、1999年の調査時にウダイカンバの枝が梢端部から枯れてゆく樹冠部の衰退が観察された。樹冠衰退木は、全体の8割を占めた。樹冠衰退木の発生頻度は、間伐強度と無関係であった。樹冠衰退木の直径成長量の低下は、間伐年以前より現れており、1985~1999年の間に明瞭になった。樹冠衰退の発生原因は明らかではないが、現時点で樹冠の衰退が顕在化している個体は、症状が現れる以前より成長量が低下していることから、樹冠の衰退を引き起こすような条件(病虫害、気象害など)により、成長量の小さい個体から衰退が発現したものと推測される。

**キーワード** ; ウダイカンバ, 二次林, 山火再生林, 間伐効果, 樹冠衰退, 林分成長量

### はじめに

北海道内には、道東・道北地方を中心に山火事由来とされる広葉樹二次林が広く分布している。これらの山火再生林は、大部分が明治から昭和初期までに発生した開墾・火入れなど人為によって引き起こされた山火事跡に成立している。記録上最大の山火事は、1911年(明治44年)に発生したもので、件数にして523件、面積は空知地方から北見地方にかけて広範囲に渡り、国有林だけでも28万haの森林が延焼したとされている(北海道林業会, 1948)。これらの山火事跡地には様々な樹種が成林したが、そのうちウダイカンバ(*Betula maximowicziana*)は、市場での価値が高い有用広葉樹であるため、成長量調査などを通してその取り扱い方法について検討されてきた(真辺ほか1968; 半田1978; 遠軽営林署1986; 三好ほか1986a; 三木ほか1989)。北海道中央部の道有林旭川経営区の金山地区にあるウダイカンバを主体とする二次林も1911年

---

\*北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute, Bibai, Hokkaido 079-0198

の山火事跡地に成立したものと推測され、その取り扱いについて検討が進められてきた（松井ほか 1955；菊沢ほか 1980；三好 1991）。しかし、ウダイカンバ二次林の適切な施業方法は不明な点が多く、特に間伐効果についての知見はきわめて少ない。また、近年、こうした明治末期の山火事を起源とするウダイカンバ二次林において、梢端部から枝が枯死し、樹冠が著しく衰退する現象が本林分も含めて道内各地で観察されている（本阿彌ほか 2000；寺澤ほか 2001；渡辺ほか 2000）。が、その原因については明らかではない。そこで本論では、ウダイカンバを主体とする二次林における間伐効果を検証するとともに、間伐と樹冠衰退木発生の関係について検討した。

## 調査地と方法

### 1. 調査地の概況

調査地は、南富良野町の道有林旭川経営区 142 林班内で、標高 400m、南西向きに緩斜面である（図-1）。基岩は、白亜系ペンケヤーラ頁岩層である。調査地に最も近い幾寅のアメダス（AMeDAS）によれば、年最高気温と年最低気温の平均値（1979～1998 の 20 年間）はそれぞれ 30.5 と -26.5，年平均気温は 4.9 である。また、年間降水量は 970 mm であり、月降水量が 100 mm を超すのは 8～11 月である（札幌管区気象台 1979～1998）。林分は 1911 年（明治 44 年）に発生した山火事起源と推測される広葉樹二次林である。樹種構成は、ウダイカンバが本数比率で約半数を占め、上層にはウダイカンバ、ミズナラ（*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*）、ハリギリ（*Kalopanax pictus*）中下層にはホオノキ（*Magnolia obovate*）、キハダ（*Phellodendron amurense*）、ハウチワカエデ（*Acer japonicum*）を配している。その他の混交樹種は、イタヤカエデ（*Acer mono*）、コシアブラ（*Acanthopanax sciadophylloides*）、エゾマツ（*Picea jezoensis*）、トドマツ（*Abies sachalinensis*）があるが、その数はきわめて少ない。林床は、高さ約 1～1.5m のクマイザサ（*Sasa senanensis*）が密生している。また、猪瀬（1990）の地位指数曲線（基準林齢 50 年）により求めたこの林分の地位指数

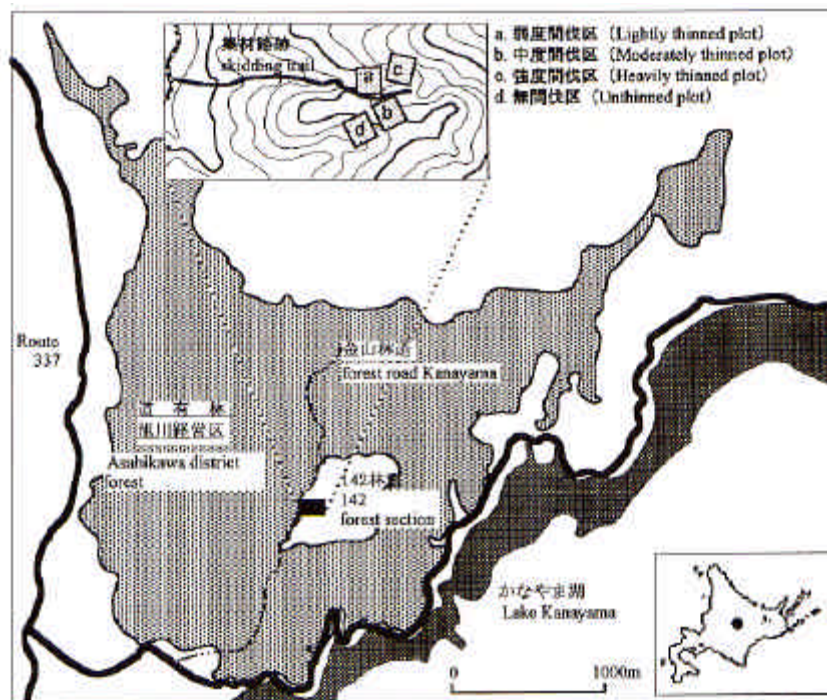


図-1 試験地位置図

Fig. 1 Location of the experimental plot in the Asahikawa district forest in Minamifurano

(SI)は15mである。

## 2. 試験地の設定と調査方法

1971年に面積0.2ha(40m×50m)の4つのプロットを図-1のように設置した。プロットは集材路をはさんで2つずつ設定した。プロット内の胸高直径2cm以上の個体について、ナンバーテープを付けて個体識別を行い、輪尺(2cm括約)により胸高直径を測定した。1983年に2回目の調査を実施し、直径巻尺により胸高直径を1mm単位で測定した(以降の調査はすべて直径巻尺による)。1983年に3回目の調査を実施し、1984年にウダイカンバ林の保育伐効果を試験する目的で間伐を実施した。間伐試験は、3段階の強度で実施し、それぞれ弱度間伐区、中度間伐区、強度間伐区とした。残り一つのプロットを無間伐区とした。

これらは、それぞれ本調査地の前回の報告(菊沢ほか1980)における、A(弱度間伐)、B(強度間伐)、C(中度間伐)、D(無間伐)にあたる。弱度間伐区と強度間伐区は集材路の上方に、中度間伐区と無間伐区は集材路の下方に配置した。強度間伐区でドロノキ1本、中度間伐区でミズナラ5本を伐採したほかは、間伐木はすべてウダイカンバである。その後、1985年に4回目、1999年に5回目の調査を実施した。ウダイカンバの樹高と枝下高の測定は、1985年に中度間伐区(8本)と強度間伐区(30本)の2つのプロットで、1999年にはすべてのプロットでそれぞれ約25本について、ブルーマイス式測高器により測定した。梢端部から枝枯れが進行している個体の樹高については、着葉量の多少に関わらず、調査時点で最も高い枝を樹高とした。

これらの調査結果をもとに、在積を胸高直径から次式により推定し、期首と期末の林分材積の差から林分成長量を求めた。

$$V = 0.00010164 D^{2.641796} \times 0.99161D$$

ここでVは材積(m<sup>3</sup>)、Dは胸高直径(cm)を表す(中島1946)

各固体の成長量の解析には、SAS統計パッケージ内にあるTukey-Kramerの多重比較検定(Tukey-Kramer multiple comparisons test, p<0.05)を用いた。樹冠長率については、値をアークサイン変換した後統計解析を行った。

## 2. 樹冠衰退木の調査方法と判定方法

1999年に調査プロット内にあるすべてのウダイカンバについて、枝枯れに伴う樹冠部全体の葉量減少割合を失葉率とし、目測により、健全(失葉率0%)、軽度(同20%未満)、中度(同20~50%)、重度(同50%以上)の4段階に分けた。これらの区分を樹冠衰退度とし、樹冠衰退度が軽度以上のものを樹冠衰退木と呼ぶこととした。なお、1999年の調査時に既に枯死していた個体については、その枯死原因が現在樹冠衰退を引き起こしているものと同一かどうかを判定できないため調査対象からはずした。また、各間伐区の樹冠衰退木の発生割合の差を検定するために、フィッシャーの正確確率検定(Fisher's exact test, p<0.05)を行った。

# 結 果

## 1. 約70年生のウダイカンバを主体とする山火再生林への間伐効果

### (1) 間伐前後の立木密度と林分材積

表-1に試験地設定時(1971年)から1999年までの各プロット全樹種の立木密度と材積の推移を示す。試験地設定時の立木密度および材積は、それぞれ910~1280本/ha、111~144m<sup>3</sup>/haであった。材積は1980年の本試験地の調査報告(菊沢ほか1980)に比べて低めであるが、これは材積計算方法の違いによる。1984年の間伐率は、材積間伐率で、弱度間伐区10.2%、中度間伐区25.5%、強度間伐区46.8%であった。間伐直後の1985年から1999年までに、枯損木の発生により立木本数が3.5~13.1%減少した。間伐14年後の1999年において、林分材積が間伐前の水準まで回復しているのは弱度間伐区のみであった。

表-1 間伐直後のプロットの立木密度と林分材積

Table 1 Tree density and stand volume of the experimental plots before and after thinning

プロット plot			間伐前 before thinning		間伐後 after thinning	
			1971	1983	1985	1999
			無間伐区 Unthinned plot	本/ha 材積 (m <sup>3</sup> /ha)	No. of trees per ha Volume (m <sup>3</sup> /ha)	1,175 144
弱度間伐区 Lightly thinned plot	本/ha 材積 (m <sup>3</sup> /ha)	No. of trees per ha Volume (m <sup>3</sup> /ha)	1,280 124	1,100 187	955(13.2%) 168(10.2%)	830 194
中度間伐区 Moderately thinned plot	本/ha 材積 (m <sup>3</sup> /ha)	No. of trees per ha Volume (m <sup>3</sup> /ha)	910 111	825 145	630(23.6%) 108(25.5%)	580 122
強度間伐区 Heavily thinned plot	本/ha 材積 (m <sup>3</sup> /ha)	No. of trees per ha Volume (m <sup>3</sup> /ha)	1,250 130	1,095 186	705(35.6%) 99(46.8%)	680 127

括弧内の値は1984年の間伐における間伐率を示す。

( ): thinning ratio (%)

表-2 間伐前後の林分成長量

Table 2 Growth of stand volume in the experimental plots before and after thinning

プロット plot	純成長量 (m <sup>3</sup> /ha) net growth (m <sup>3</sup> /ha)		枯損量(m <sup>3</sup> /ha) mortality (m <sup>3</sup> /ha)		粗成長量(m <sup>3</sup> /ha) gross growth (m <sup>3</sup> /ha)	
	1971~1983 before thinning	1985~1999 after thinning	1971~1983 before thinning	1985~1999 after thinning	1971~1983 before thinning	1985~1999 after thinning
	無間伐区 Unthinned plot	53.4 (4.5)	22.2 (1.6)	7.3 (0.6)	21.7 (1.6)	60.7 (5.1)
弱度間伐区 Lightly thinned plot	63.2 (5.3)	26.2 (1.9)	11.4 (1.0)	15.4 (1.1)	74.6 (6.2)	41.6 (3.0)
中度間伐区 Moderately thinned plot	33.8 (2.8)	14.8 (1.1)	7.5 (0.6)	15.6 (1.1)	41.3 (3.4)	30.4 (2.2)
強度間伐区 Heavily thinned plot	55.5 (4.6)	27.9 (2.0)	6.5 (0.5)	7.2 (0.5)	62.7 (5.2)	35.1 (2.5)

括弧内の値は年平均成長量を示す。

( ): growth and mortality per year

本林分の林分材積と立木密度の推移について、全道のウダイカンバ林の調査より求められたウダイカンバ林の最多密度曲線（渋谷・菊沢1988）とあわせて図-2に示した。1999年の調査時点において、いずれのプロットにおいても最多密度曲線に達していなかった。

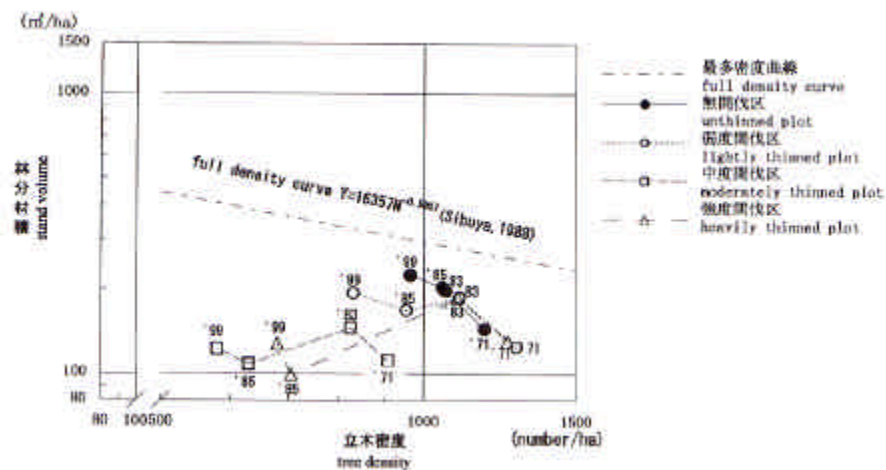


図-2 林分材積と立木密度の28年間の推移 (1971, '83, '85 '99)

\* 最多密度曲線は渋谷(1988)により描く。

Fig. 2 Relationship between stand volume and tree density from 1971 to 1999 (1971 '83 '85 '99).

(2) 間伐前後の林分成長量

各プロットにおける全樹種の林分成長量の間伐前後の変化を表- 2 に示す。間伐前(1971~1983年)の年平均純成長量は  $4.3\text{m}^3/\text{ha}/\text{yr}$  (範囲は  $2.8\sim 5.3\text{m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ )であったが、間伐後(1985~1999年)は  $1.7\text{m}^3/\text{ha}/\text{yr}$  (範囲は  $1.1\sim 2.0\text{m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ )となり、すべてのプロットにおいて間伐前の2分の1以下になった。

年平均枯損量については、無間伐区と中度間伐区で間伐後に増加した傾向がうかがえるが、強度間伐区と弱度間伐区では間伐前後でほとんど差がなかった。

枯損量を含めた粗成長量は、間伐前に比べて間伐後の方がすべてのプロットで減少していた。いずれのプロットにおいても間伐前に比べて3分の2から2分の1に減少した。

(3) 間伐と枯損木発生の関係

枯死木の発生要因と本数密度の関係について、林分の組み合わせ具合を示す指標である林分緊密度( ) (Kikuzawa 1983) を用いて検討した(図 3)。間伐前の林分緊密度は、各プロット間でほとんど差がなかったが、枯死木の年平均発生数は、弱度間伐区の15本/haから中度間伐区の7本/haまで差がみられた。間伐後では、林分緊密度は間伐強度が強いほど低くなり、林分緊密度と枯死木の発生数の間に正の関係を示す傾向が表れた。特に、弱度間伐区と強度間伐区は、間伐前は無間伐区よりも多数の枯死木を発生させていたが、間伐後は無間伐区よりも枯死木の発生が少なくなった。このことから、間伐により林分緊密度を下げたことが枯死木の発生数を減らすことに有効であったと考えられる。

(4) 大径木生産への間伐効果

材として価値が高まるのは末口径が30cm以上の材とされるので(三好・新田 1986 b)、胸高直径30cm以上の径級の本数について、間伐前(1983年)、間伐直後(1985年)、

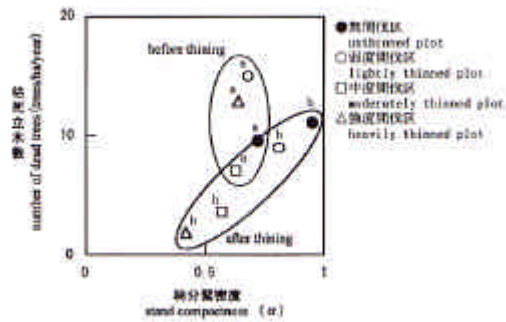


図 3 間伐前後における林分緊密度 ( a ) と年平均枯死数との関係

a) 間伐前 (1971~1983年) b) 間伐後 (1985~1999年)

Fig. 3 Relationship between stand compactness ( ) and number of dead trees per year

a) before thinning (from 1971 to 1983) b) after thinning (from 1985 to 1999)

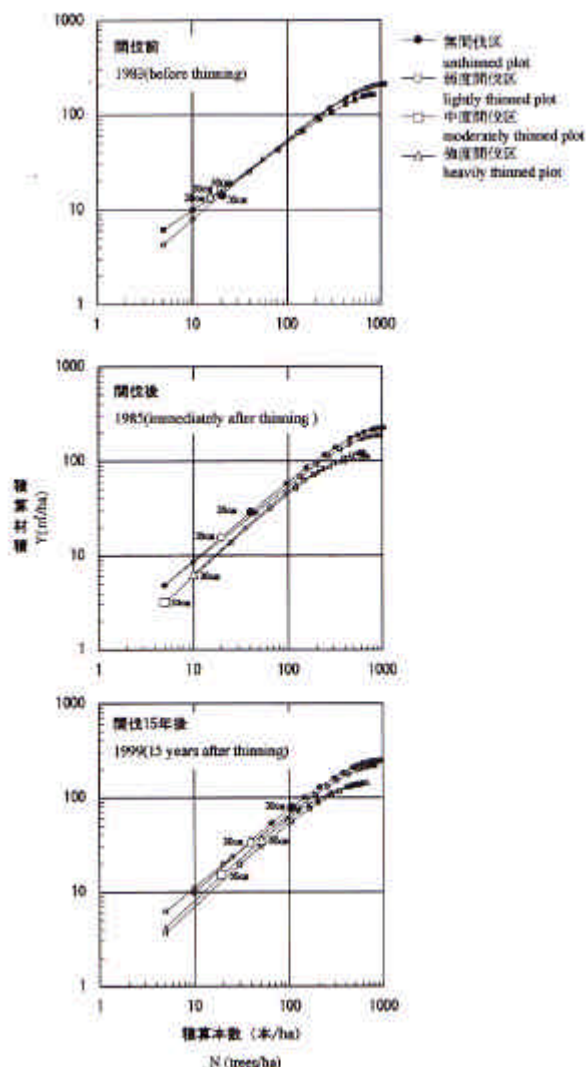


図 4 間伐前後における Y-N 曲線の推移

Fig. 4 Relationship between total number of trees(N) and total stem volume(Y) of each plot from 1983 to 1999.



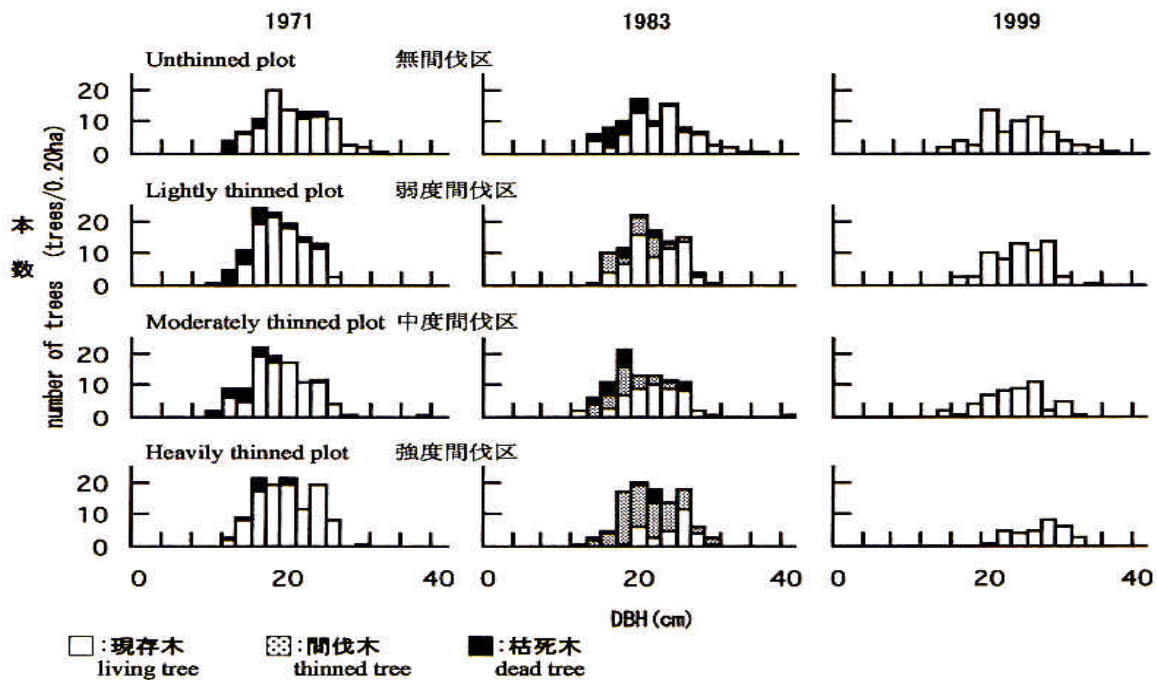


図 5 各間伐区におけるウダイカンバの胸高直径頻度分布の推移  
 (間伐木は、1984年の間伐によるものを示す。枯死木は、それぞれ次期調査年までに発生したものを表す。1971から1983まで、1983年：1999年まで)

Fig. 5 Frequency distribution of DBH (diameter at breast height) of *Betula maximowicziana* in Minamifurano, Hokkaido from 1971 to 1999.  
 Dead trees shown in 1971 and 1983 represent the trees which died during 1971-1983, and 1983-1999, respectively. Thinned trees shown in 1983 represent the trees which were thinned in 1984.

本調査年(1999年)のY-N曲線により検討した(図4)。間伐前では、各プロットの30cm以上の径級の本数は、ほとんど差が無かった。間伐直後(1985年)に間伐区の本数は減少した。その後、14年後の1999年には、30cm以上の径級木は無間伐区で最も多く、続いて、強度間伐区、弱度間伐区、中度間伐区の順となった。

#### (5) ウダイカンバの直径頻度分布と枯死木のサイズ

この林分で優占するウダイカンバについて、1971年から1999年までの胸高直径の頻度分布を図-5に示した。1983年のグラフには、1983年から1999年までに間伐および枯死した個体を含んでいる。間伐木は広い直径階に分布しており、全層で間伐が行われていたことが分かる。

枯死木の階級は、間伐前および間伐後のいずれの期間においても、小径木に多い傾向がみられたが、中径木以上の枯死木もわずかにみられた。各期間の期首にあたるそれぞれ1971年と1983年の平均直径以上の枯死木数を比較すると、無間伐区で3本と8本、弱度間伐区で5本と5本、中度間伐区で1本と4本、強度間伐区で2本と5本(いずれも0.2ha当り)となり、3つのプロットで平均直径以上の枯死木が増加していた。

#### (6) 直径成長量への間伐効果

各調査プロットのウダイカンバの平均胸高直径成長量を表-3に示す。間伐直後の胸高直径は、各プロットともに20cm前後であり、プロット間の有意差は無かった。間伐後14年間の直径成長量は、無間伐区に比べ間伐区がいずれも有意に大きくなった。間伐区間では、間伐強度が強いほど直径成長量は大きかった。無間伐区とは、弱度間伐区で1.6倍、中度間伐区で2.1倍、強度間伐区で2.5倍の差が開いた。最も成長量が大きい強度間伐区の胸高直径成長量は14年間で1.99cm、年平均では0.14cmであった。

表 3 間伐後 14 年間(1985 ~ 1999 年)におけるウダイカンバの胸高直径成長量

Table 3 Growth of DBH (diameter at breast height) of *Betula maximowicziana* trees during 14 years (1985-1999) after thinning.

プロット plot	期首胸高直径 DBH(before thinning) (cm)	胸高直径成長量 DBH growth (cm/14years)	年平均胸高直径成長量 annual DBH growth (cm/4years)
無間伐区 Unthinned plot	21.0±4.8 a	0.81±0.1 a	0.06
弱度間伐区 Lightly thinned plot	20.5±3.5 a	1.34±0.11 b	0.10
中度間伐区 Moderately thinned plot	19.4±4.5 a	1.67±0.12 b.c	0.12
強度間伐区 Heavily thinned plot	20.8±3.9 a	1.99±0.14 c	0.14

平均値±標準誤差で示した。同じアルファベットを持たない値は有意に異なる(Tukey-Kramerの多重比較検定, p<0.05)。

Value is mean±SE. Values with the same letter are not significantly different by the Tukey-Kramer multiple comparisons test(p<0.05).

表 4 樹冠部への間伐の影響

Table 4 Effect of thinning on crown dimensions

プロット plot	樹高 tree height(m)		枝下高 height to live crown(m)		樹冠長 crown length(m)		樹冠長率 crown length ratio(%)	
	1985	1999	1985	1999	1985	1999	1985	1999
	無間伐区 Unthinned plot	-	17.6±0.38 a	-	10.6±0.35 ab	-	7.0±0.41 a	-
弱度間伐区 Lightly thinned plot	-	18.1±0.40 ab	-	11.8±0.38 ab	-	6.4±0.43 a	-	36.0±1.23 a
中度間伐区 Moderately thinned plot	19.7±0.41	17.7±0.41 a	9.6±0.65 a	10.0±0.39 a	10.1±0.74	7.7±0.44 a	45.7±1.65	41.2±1.25 b
強度間伐区 Heavily thinned plot	20.9±0.41	19.0±0.35 b	12.5±0.32 a	11.9±0.32 b	8.5±0.36	7.0±0.37 a	39.3±0.81	37.4±1.05 ab

平均値±標準誤差で示した。各列で同じアルファベットを持たない値は有意に異なる(Tukey-Kramerの多重比較検定, p<0.05)

Value is mean±SE. Values with the same letter in each column are not significantly different by the Turkey-Kramer multiple comparisons test (p<0.05).

#### (7) 間伐後の樹冠形状の変化

間伐後に樹冠と枝下高を測定した結果を表-4 に示した。1985 年に樹高の測定値のある中度および強度間伐区では、1985 年より 1999 年の樹高が若干低くなっている傾向がみられる。これは、後述する樹冠部の衰退と関連している可能性がある。樹高と枝下高の関係より求めた樹冠長率は、1985 年に比べ 1999 年の方が樹高の低下のため小さくなった。

## 2. ウダイカンバ樹冠衰退木の発生状況

### (1) 間伐強度と樹冠衰退木の発生頻度

各プロットでのウダイカンバの樹冠衰退木の発生本数を樹冠衰退度別に表-5 に示す。樹冠衰退木はす

すべての調査プロットで観察され、全体の 85%の個体で軽度以上の樹冠の衰退が認められた。どのプロットにおいても軽度の樹冠衰退木が多数を占め、重度の樹冠衰退木は少なかった。

各プロットでの樹冠衰退木の発生頻度をフィッシャーの正確確率検定 (Fisher's exact test,  $p < 0.05$ ) によって検定した結果、樹冠衰退度別の発生本数は、弱度間伐区と他の調査プロット間には有意差が認められたが、他のプロット間では有意差が検出されなかった。

表-5 各調査プロットでのウダイカンパの樹冠衰退度別個体数

Table 5 Number of trees categorized by the class of crown dieback in each experimental plot

プロット plot (0.2ha)	樹冠衰退度 Class of crown dieback (lost foliage ratio in crown%)			
	健全	軽度	中度	重度
	Undamaged(0%)	Lightly damaged(<20%)	Moderately damaged(20-50%)	Heavily damaged(50%)
無間伐区 Unthinned plot	5 (7.2%)	39 (56.5%)	19 (27.5%)	6 (8.7%)
弱度間伐区 Lightly thinned plot	18 (27.3%)	43 (65.2%)	2 (3.0%)	3 (4.5%)
中度間伐区 Moderately thinned plot	3 (6.0%)	34 (68.0%)	8 (16.0%)	5 (10.0%)
強度間伐区 Heavily thinned plot	7 (21.9%)	16 (50.0%)	6 (18.8%)	3 (9.4%)

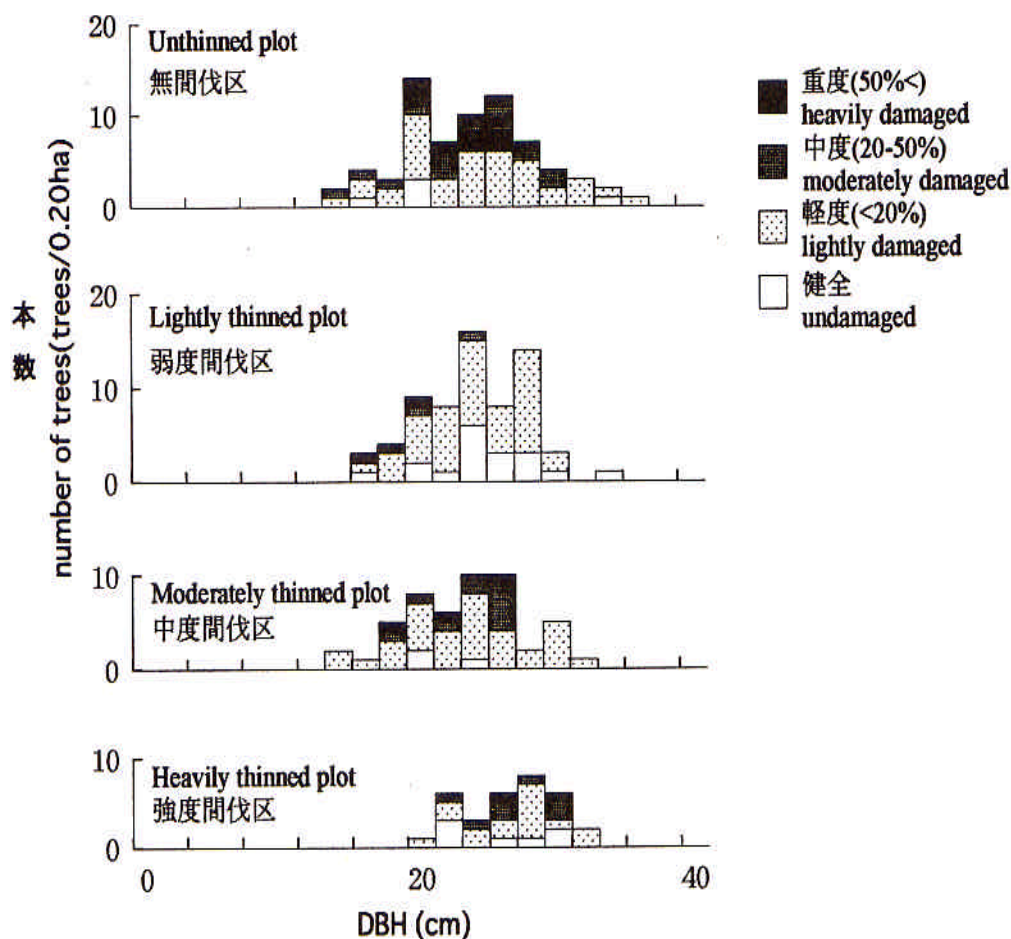


図 6 各調査プロットにおける樹冠衰退木の胸高直径頻度分布

Fig. 6 Frequency distribution of DBH(diameter at breast height) of *Betula maximowicziana* trees of each class of crown dieback in Minamifurano, Hokkaido.



(2) 径級別衰退木発生頻度

図-6 に樹冠衰退度別にみた各プロットでの直径頻度分布を示す。軽度の樹冠衰退木は、いずれのプロットにおいても、ほぼすべての径級に渡っていた。中度、重度の衰退度を示す個体については、弱度間伐区を除く3つのプロットでは、小径木だけではなく比較的大きな径級の木においても観察された。

(3) 樹冠衰退程度と直径成長量の関係

個体の成長と樹冠の衰退の関係をみるために、全てのプロットのウダイカンバについて、1999年時点の樹冠衰退度に基づいて、1971年の胸高直径とそれ以降の胸高直径成長量を表-6に示した。

林齢60年生にあたる1971年の胸高直径は、樹冠衰退度に関わらずほぼ同じであった。その後、1971年から1983年までの直径成長量は、統計的な有意差は認められないものの、樹冠衰退程度が重いほど成長量が

表 6 ウダイカンバ(樹冠衰退度別にみた間伐前後の胸高直径成長量

Table 6 Growth of DBH(diameter at breast height) of *Betula maximowicziana* trees categorized by the class of crown dieback. The degree of crown dieback is observed in 1999.

樹冠衰退度 Class of crown dieback (lost foliage ratio in crown(%))	胸高直径 1971 DBH(cm)	胸高直径成長量 DBH growth(cm)	
		1971~1983 before thinning	1985~1999 After thinning
健全 Undamaged(0%)	18.41 ± 0.69	3.19 ± 0.30 a (0.27)	1.85 ± 0.14 a (0.13)
軽度 Lightly damaged(<20%)	18.88 ± 0.34	3.11 ± 0.15 a (0.26)	1.61 ± 0.07 a (0.11)
中度 Moderately damaged(20-50%)	18.88 ± 0.66	2.98 ± 0.29 a (0.25)	1.49 ± 0.14 a,b (0.11)
重度 Heavily damaged(50%<)	18.22 ± 0.91	2.30 ± 0.40 a (0.19)	0.89 ± 0.19 b (0.06)

樹冠衰退度は1999年の調査に基づく。

平均値 ± 標準誤差で示した。各列で同じアルファベットを持たない値は有意に異なる(Tukey-Kramerの多重比較検定, p<0.05)。( )内は、年平均直径成長量。

Value is mean ± SE. Values with the same letter in each column are not significantly different by the Tukey-Kramer multiple comparisons test (p<0.05). ( ) : Annual growth of DBH (diameter at breast height)

表 7 樹冠衰退度と樹冠部への影響

Table 7 Influence of crown dieback on crown dimensions

樹冠衰退度 Class of crown dieback (lost foliage ratio in crown(%))	樹高 tree height (m)	枝下高 height to live crown (m)	樹冠長率 crown length ratio (%)
健全 Undamaged (0%)	19.0 ± 0.44 a	11.0 ± 0.41 a	40.2 ± 1.34 a
軽度 Lightly damaged (20%)	18.5 ± 0.22 a	11.2 ± 0.21 a	38.6 ± 0.66 a
中度 Moderately damaged(20-50%)	18.0 ± 0.44 a	11.3 ± 0.41 a	37.1 ± 1.33 a
重度 Heavily damaged (50%<)	17.0 ± 0.69 a	10.8 ± 0.64 a	37.5 ± 2.08 a

平均値 ± 標準誤差で示した。各列で同じアルファベットを持たない値は有意に異なる(Tukey-Kramerの多重比較検定, p<0.05)

Value is mean ± SE. Values with the same letter in each column are not significantly different by the Tukey-Kramer multiple comparison test (p<0.05).

小さい傾向が見られた。1985年から1999年では、重度の樹冠衰退木は健全と軽度の樹冠衰退度のものより有意に成長量が小さかった。

#### (4) 樹冠衰退度と樹冠の形状

表-7 に樹冠衰退度別にみた樹高と枝下高を示した。樹高については、統計的な有意差は認められなかったが、樹冠衰退の度合いが重くなるにつれ、低くなる傾向がみられた。これは、樹冠の衰退が梢端部から始まり次第に枯れ下がるためと考えられる。一方、枝下高については、差が無かった。これらの結果、樹高に占める樹冠の割合を示す樹冠長率は、健全木に比べ樹冠衰退木の方が小さくなる傾向が認められた。

## 考 察

### 1. ウダイカンバ山火再生林の林分成長量と間伐効果

本試験地の前回調査報告（菊沢ほか 1980）と調査林分付近の金山地区のウダイカンバを主体とした山火再生林分の調査報告（松井ほか 1955）によれば、林齢 70 年生前後にあたる 1980 年代までの林分の純成長率は平均  $6.5\text{m}^3/\text{ha}$  であり、他の広葉樹二次林と比較して低くなかった。しかし、今回の調査により推定林齢 70 年生にあたる 1984 年（間伐年）頃を境にどのプロットでも純成長率が著しく低下したことが明らかとなった。この時期の前後で枯損量はそれほど変わらないことから、純成長量の低下は主に粗成長量の低下による。粗成長量は、材積比率で 40% 以上の間伐を行った強度間伐区において間伐前の 50% 程度に低下した。一般に、間伐率が 40% を超えると林分成長量は低下するとされている（菊沢 1983）。しかし、10% 程度の材積間伐率であった弱度間伐区でも粗成長量が 48% に低下していることや、間伐率 26% の中度間伐区での粗成長量の低下の程度が無間伐区とほぼ同じ程度であることを考えると、強度間伐区での間伐後の粗成長量の低下は必ずしも間伐による林分葉量減少の影響とは考えられない。このようなウダイカンバ林の壮齢期における林分成長量の低下は、明治末に発生した山火事跡の他のウダイカンバ二次林においても報告されている（半田 1978；三好・新田 1986b）。

本試験地における間伐は、このように林分成長量が低下しつつある林齢約 70 年生時に行われた。間伐による直径成長量の促進効果は認められたが、間伐後の平均胸高直径成長量は、最も大きかった強度間伐区においても年平均  $0.14\text{cm}$  であった。これは、かき起こし後に発生した 25 年生のウダイカンバ二次林（芦別市）の  $0.46\text{cm}$ （渡辺 1997）や 28 年生のウダイカンバ人工林（紋別市）の  $0.55\text{cm}$ （及川 1990）に比べてかなり小さい。このように、間伐による個体の直径成長の促進効果が小さかったために、ウダイカンバの材として価値が高まるとされる  $30\text{cm}$  以上の径級木の本数は、間伐から 14 年を経過した 1999 年においても、いずれの間伐区よりも無間伐区の方が多くなり、大径材をより多く生産するという間伐本来の目的を達成できなかった。

一般に、間伐による個体の成長促進は、生産器官にあたる樹冠部の葉量の増加によるところが大きいと考えられる。葉量の指標となる樹冠長率についてみると、中度間伐区や強度間伐区において樹冠長率は間伐後にむしろ小さくなった。樹冠長率が小さくなった原因の一つは、梢端部の枯れ下がりによる樹高の低下である。しかし、枯れ下がりの兆候のみられない健全木の 1999 年の樹高は  $19\text{m}$  であり、これは 1985 年の樹高（中度、強度間伐区）とほぼ同じである。このことより間伐後の林分の樹高成長は、ほとんど無かったものと考えられる。ウダイカンバは、後生枝が発生しづらいという特性（菊沢 1995）から、枝が枯れ上がると下方向への樹冠葉量の増加が難しい。今回の調査では、樹冠葉量の横方向の指標となる樹冠幅について調査していないため、樹冠全体の発達程度については論じられないが、縦方向の樹冠部の発達の停滞が、肥大成長に及ぼす間伐効果が小さかった原因の一つと考えられる。これまでに林齢 18 年生や林齢 24 年生のような若齢なウダイカンバ二次林への間伐は、十分に効果があることが認められている（滝谷ほか

1996；渡辺ほか 1997)。これらのことから、ウダイカンバ二次林への間伐による密度管理は、樹高成長にともなう葉量の増加が可能な林齢から始める必要があると思われる。

枯死木の本数は、間伐により林分緊密度を下げることにより減少した。しかし、枯損木の材積は、間伐前後で各プロットともに変わらなかった。枯死木の本数が間伐によって減っているにもかかわらず、間伐前後で枯損量に差が無かったのは、間伐区においての小径木のみならず中径木以上の個体が比較的多く枯死したためと考えられる。本林分ではホオノキの枯死も目立つが、枯死木の径級は小径木に集中しており、平均直径以上の径級の木まで枯死するウダイカンバとは別の傾向を示していた。ウダイカンバの中径木以上の個体の枯死は、蘭越町の林齢 100 年を超える山火再生林において枯死木の径級 18～48cm の範囲に及んでいる事例が報告されている（倶知安道有林管理センター 2000）。中径木以上の個体が枯死する原因については不明であるが、後述する樹冠衰退現象と関連している可能性も考えられる。

## 2. ウダイカンバ樹冠衰退木の発生と間伐施業の関係

ウダイカンバの樹冠部の衰退については、本調査地（渡辺 2000）以外の地域においても、報告されている（林業試験場 1978；三木ほか 1989；芝野ほか 1995；本阿彌ほか 2000；寺澤ほか 2001）。いずれも、梢端部から枝が先枯れし、進行すると枯死に至る。本調査地では、軽度な樹冠衰退までを含めた樹冠衰退木は全体の 8 割を占めた。既に枯死した個体については、枯死原因が樹冠衰退によるとは特定できないため結果には含まれていないが、枯死木の径級分布と重度以上の樹冠衰退木の径級分布が似ていることから、枯死木は樹冠衰退の症状を呈して、枯死した可能性が高そうである。こうした樹冠衰退木の発生は、北見地方の 60 年生のウダイカンバ山火再生林において、樹冠の競合と考えられる原因によって枯損量が増えた事例（林業試験場 1978）と似ている。ただ、もし個体間競争によって樹冠衰退や枯死が発生するとすれば、間伐強度を強め立木密度を低くした方が、枯死木や樹冠衰退木は少なくなるはずである。本林分では、間伐によって林分緊密度を低下させることにより、枯損木の本数は減少させることができたが、中径木以上の個体の衰退や枯死は中度や強度の間伐区でも起こった。樹冠衰退木の発生比率は、間伐区と無間伐区で明確な差がなく、この傾向は枯死木を重度の樹冠衰退木に加えた場合も変わらない。これらのことから、最近 14 年間に起きた樹冠衰退木の発生や中径木以上の枯死木は、単に個体間競争の結果ではないことが示唆される。

樹冠衰退木の発生は、間伐施業による幹への傷害や作業に使われる重機による根への踏圧などによる影響も考えられる。しかし、樹冠衰退木の発生割合は、施業が行われていない無間伐区と間伐区で差が無かった。平均直径以上の枯死木の発生数は間伐後の方が多いが、これは無間伐区と間伐区両方で増えており、林分全体の傾向であると考えられる。また、観察から試験区中央部を通る集材路周辺に樹冠衰退木や枯死木が集中していることも無かった。これらのことにより、樹冠衰退木や枯死木の発生は、間伐施業と直接結びついているものではないと考えられる。

樹冠衰退がみられるウダイカンバの林齢 60 年生時（1971 年）の胸高直径は、現時点で観察される樹冠衰退度に関わらずほぼ同じであった。しかし、1971 年から間伐前年の 1983 年までの 12 年間の直径成長量では、樹冠衰退木と健全木との間にわずかながら成長量の差が表れていた。この直径成長量の差は、間伐後にあたる 1985 年から 1999 年の最近 14 年間の間に、より明瞭な差となって表れた。本調査地と同時期に成立した興部地方のウダイカンバの衰退木と健全木の樹幹解析の結果によると、健全木と衰退木の成長量の差は、衰退が顕在化するかなり以前と考えられる林齢 40～50 年生で表れていた（本阿彌ほか 2000）。これらのことより、現時点で樹冠衰退が観察されている個体は、かなり以前より、なんらかの理由により直径成長量が低下していたことが示唆される。

樹冠が衰退する至近要因としては、大量な結実により枝枯れを起こした事例（Gross 1972）やウダイカンバ林に度々発生するナミスジフユナミシヤクのような食葉性昆虫の発生（原 1997）などが考えられるが、本調査地においてはこれらの要因との因果関係は明らかではない。また、樹冠衰退がみられるウダイカンバの一部には、矮小化した葉が梢端部についているのが観察され、枝枯れへの過程であると思われた。いずれにしても、現在、樹冠の衰退が顕在化している個体は、症状が表れる以前より成長量が低下していたことから、樹冠の衰退を引き起こすような条件（病虫害や気象害など）が発生することにより、樹冠の発達の悪い個体から衰退が発現した（寺澤 2000）と考えられる。

## おわりに

今回調査したウダイカンバ二次林では、林齢 70 年生を迎える頃に林分成長量が低下した。その原因については、枝枯れによる樹冠衰退が影響を与えているのか、それとも成長量が低下するような状態が樹冠の衰退を誘発しているのか、現時点では明らかではない。少なくとも、林分成長量が低下した数十年を超えたウダイカンバ二次林への間伐は、直径成長への効果が低く、また樹冠衰退木の発生を抑制することが出来ないことから、あまり効果的では無いと思われる。

しかし、本試験地近郊の東大北海道演習林（富良野市山部）にある明治末期の山火事後に成林した林齢 85 年生のウダイカンバ林において、過去 5 回の間伐を実施した結果、平均胸高直径 43cm の林分を仕立てたという事例がある（東大北海道演習林 未発表）。若齢なウダイカンバ二次林への間伐効果は、これまでも林齢 18 年生（渡辺 1997）や林齢 24 年生（滝谷 1996）において、認められている。これらのことにより、若齢時から早めの間伐施業を繰り返すことが大径材を生産するうえで有効であると思われる。

今後は、樹冠衰退木の発生要因の解明とともに、樹冠衰退木の発生を予防するために、間伐時期や間伐回数などを考慮したウダイカンバ二次林の育成手法について検討する必要があるだろう。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、浅井達弘博士には調査協力、指導を承った。小山浩正博士、佐藤弘和氏には有益なご助言を頂いた。また、北海道立林業試験場の研究職員の方々にはゼミなどを通して、議論に参加していただいた。あわせて、深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 遠軽営林局 1986 ウダイカンバ主体の広葉樹高品質材生産林．北方林業 38：78-82
- Gross,H.L. 1972 Crown deterioration and reduced growth associated with excessive production by birch. *Can.J.Bot.* 50：2431-2437
- 半田秀雄 1978 山火再生林の保育施業-興部林務署の施業の一端について-．北方林業 30：231-236
- 原 秀穂・東浦康友・洞平勝夫・高橋儀昭 1997 ナミスジフユナミシヤクの食用被害によるウダイカンバの枝枯れ・枯損．森林保護 257：7-8
- 北海道林業曾 1948 山火事．林業解説シリーズ7 37p 北海道林業曾 札幌
- 本阿彌俊治・江良武雄・下間洋司・寺澤和彦・林 直孝 2000 興部地方の山火再生林におけるウダイカンバ先枯れの現況とその成長．北方林業 52：173-176
- 井本正幸・小林 勉 1983 ウダイカンバ二次林の生長量について．昭和 581 年道林研論 50-51
- 猪瀬光雄・小木和彦・佐野 真・真邊 昭 1990 カンバ 3 種の上層樹高の成長解析．日林北支論 38：198-199

- 菊沢喜八郎・高橋幸雄・水井憲雄・浅井達弘・福地 稔・水谷栄一 1980 ウダイカンバ林の生長量. 日林北支論 29:46-48
- 菊沢喜八郎 1983 北海道の広葉樹林.152p 北海道造林振興協会 札幌
- Kikuzawa, K. 1983 Yield-density diagram: compactness index for stands and components. For. Ecol. Manage. 7:1-10
- 菊沢喜八郎 1995 芽のデモグラフィから予測される後成枝の発生しやすさ. 日林北支論 43 : 178-179
- 倶知安道有林管理センター 2000 幼齡林択伐林の施業試験. 林業経営試験 道有林における実践例 第 報 : 85-89
- 真辺 昭・篠原久夫・加藤宏明 1968 北見地方における山火再生林の取り扱いに関する研究 第 3 報). 64 回日林講演集 51-52
- 松井善喜・篠原久夫 1955 マカバ二次林の構成と成長について (山火再生林に関する研究 第 3 報). 64 回日林講演集 43-49
- 三木史郎・小原史郎志・多田宏明 1989 山火再生林における保育伐の効果について 北海道営林局業務 研究発表集 43-49
- 三好英勝・新田紀敏 1986a 道有林興部経営区の広葉樹二次林施業-1-. 北方林業 38:182-187
- 三好英勝・新田紀敏 1986b 道有林興部経営区の広葉樹二次林施業-2-. 北方林業 38:275-279
- 三好英勝 1991 ウダイカンバ更新林分の施業方法. 北方林業 43 : 327-330
- 及川勇二 1990 ウダイカンバ人工林の成長について. 平成 2 年道林研論 34-35
- 林業試験場 1978 天然性広葉樹の保護・育成. 昭和 52 年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告 署 482p
- 札幌管区气象台 1979~1998 北海道の気象. 第 23~42 巻 日本気象協会北海道支部 札幌.
- 芝野伸策・笠原久臣・木村徳志・福士憲司・井口和信・岡村行治・高橋康夫 1995 ウダイカンバ大径木の年輪解析による成長経過-東京大学北海道演習林の衰退木・枯損木について-. 106 回日林論 263-264
- 渋谷正人・菊沢喜八郎 1988 ウダイカンバ林の収穫-密度図. 日林北支論 36 : 124-126
- 滝谷美香・梅木 清・小山浩正・寺澤和彦 1996 ウダイカンバ間伐試験地における葉量および林分構造の 10 年間の推移. 日林論 44 : 86-88
- 寺澤和彦・小山浩正・渡辺一郎・江良武雄・本阿彌俊治・野村具弘 2001 興部地方の広葉樹二次林における樹冠の部分枯損の実態. 日林北支論 49 : 69-72
- 渡辺一郎・寺澤和彦・八坂通泰・梅木 清・浅井達弘 2000 金山ウダイカンバ二次林の保育伐効果と先枯れ木の発生状況. 平成 11 年道林研論 96-97
- 渡辺一郎・加藤正人・八木田忠信 1997 吉田の沢, ウダイカンバ保育伐試験地-試験地設定 7 年後の成績-. 平成 8 年道林研論 46-47

#### Summary

Thinning effects and occurrence of crown dieback were investigated in a mature stand of *Betula maximowicziana* established after 1911 fire in central Hokkaido, northern Japan. Experimental thinning was done in 1984 with three different thinning rates; 10.2%, 25.5% and 46.8% at lightly-, moderately- and heavily-thinned plot, respectively. In 1999, growth of individual trees and stand yield were measured and degree of crown dieback found in *Betula maximowicziana* trees was evaluated. Net growth of stand volume



during the period after thinning (1985-1999) was higher than those before thinning (1971-1983) at all the plots including the untwined plot. Since the volume of dead trees didn't differ between two periods before and after thinning, decrease of gross growth was responsible for the decline of stand net growth in the period after thinning. DBH growth of individual trees after thinning was highest in the heavily-thinned plot. Mean annual DBH growth after thinning, however, was as small as 0.14cm/year even in the heavily-thinned plot. Thinning resulted in the decrease in number of dead trees during the period after thinning. Difference in the number of dead trees among the plots, however, did not reflect to total volume of dead trees after thinning, because larger number of trees, whose DBH were beyond average DBH of the plots, died after thinning as compared with before thinning at all the plots. Crown dieback was observed in 80 per cent of *Betula maximowicziana* trees, and proportions of trees in each crown dieback class were not different among all the plots. In the trees whose crowns were declining at the 1999 census, DBH growth had been slightly lower as compared with the trees with healthy crown in the period before thinning (1971-1983), and the decrease of DBH growth in the trees with crown dieback had become apparent between 1985 and 1999. Although there was no sufficient evidence to specify the cause of crown dieback, both of the occurrence of declining trees even in the unthinned plots and the symptoms of growth depression of those trees even in the period prior to the thinning suggest that thinning may not be responsible for the crown dieback in this stand. Crown dieback seems to have become more apparent in the trees with lowered growth rather than in vigorous trees, triggered by some biotic or abiotic stresses (e.g. damage by fungi and insects, or climatic damage).

Keywords : *Betula maximowicziana*, secondary forest after fore, thinning effect, crown dieback, stand growth