HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道十勝地方のカラマツ高齢級人工林に共通する林相の特徴と長伐期施業の要件
Author(s)	岩崎, ちひろ; 渋谷, 正人; 石橋, 聡 他
Citation	北海道大学演習林研究報告, 70(1), 21-30
Issue Date	2015-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58297
Type	departmental bulletin paper
File Information	RBHUF70-1_003.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道十勝地方のカラマツ高齢級人工林に共通する林相の特徴と長伐期施業の要件

岩﨑　ちひろ [1]，渋谷　正人 [2*]，石橋　聰 [3]，髙橋　正義 [4]

Stand conditions of middle-aged *Larix kaempferi* plantations in Tokachi region and a management guideline for long rotation management

by

IWASAKI Chihiro[1], SHIBUYA Masato[2*], ISHIBASHI Satoshi[3], TAKAHASHI Masayoshi[4]

要　　旨

カラマツ人工林の長伐期施業に必要な条件を検討するため、北海道十勝地方の 54～80 年生のカラマツ人工林 20 林分で林相の特徴を把握した。また、長伐期化する林分に重要な風害抵抗性に着目し、耐風性の指標としてよく用いられる形状比と樹冠長率を検討した。その結果、密度や蓄積、収量比数が小さく、疎仕立て状の林分が多かった。平均形状比は 68～90、平均樹冠長率は 0.42～0.62 であった。既存研究で風害抵抗性が高いカラマツ人工林は、平均形状比が 70 未満、平均樹冠長率が 0.45 以上とされているが、本研究の結果では、樹冠長率は既往の値と一致したが、形状比は一致しなかった。このことから、樹冠長率は風害抵抗性を指標する樹形要素として汎用性が高い可能性があると考えられ、その場合平均樹冠長率が 0.45 以上であることがカラマツの長伐期林に必要な条件と仮定された。そこで、この仮定に基づいて平均樹冠長率 0.45 以上を維持する密度管理方法を検討した。その結果、Ⅰ等地では、収量比数を 25 年生時に 0.8 以下、30 年生以上では 0.6 未満で管理する必要があり、また林齢にともなって、さらに収量比数を小さく疎な状態に維持しなければならないことが明らかとなった。

キーワード：カラマツ、長伐期施業、風倒抵抗性、樹冠長率、形状比

2013 年 8 月 13 日受付, Received August 13, 2013
2014 年 11 月 4 日受理, Accepted November 4, 2014

1. 北海道大学大学院農学院環境資源学専攻森林資源科学講座造林学分野
Laboratory of Silviculture, Research Group of Forest Resource Science, Division of Environmental Resources, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University
2. 北海道大学農学研究院環境資源学部門森林資源科学分野造林学研究室
Laboratory of Silviculture, Research Group of Forest Resource Science, Division of Environmental Resources, Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University
＊shibuya@for.agr.hokudai.ac.jp
3. 独立行政法人森林総合研究所北海道支所
Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute
4. 独立行政法人森林総合研究所企画部研究管理科
Forestry and Forest Products Research Institute

Ⅰ. はじめに

戦後の拡大造林期以来、日本の人工林では一般に主伐期が 50 年以下の一斉皆伐施業が想定されてきた。造林面積の大きかった 1960～1970 年代に植栽された林分は現在 8～10 齢級となり、保育段階から生産材が十分に利用可能な段階へと移行してきている（林野庁，2011）。しかしながら、長期的な材価の低迷や林業従事者の減少などにより、植栽当初に想定されていた伐期齢での伐採が行われず、結果的に長伐期化される林分が増加している。

カラマツ（*Larix kaempferi* Carr.）は北海道の主要造林樹種であり、北海道の人工林面積の約 3 割を占めている（北海道，2013）。元々想定された主伐期が 30～35 年程度の短伐期利用型の樹種であり、中小径木の生産が行われてきた（小林, 1976）。しかし、北海道のカラマツ人工林でも、長伐期へと移行する林分が増加しつつある。

人工林の長伐期施業とは、一般的には伐期齢を通常の 2 倍程度に延長する施業方法である（河原，2001）。長伐期施業は、木材生産の面からみれば、大径材生産が可能であり、さらに、持続的な木材生産に必要な全国規模での人工林の齢級配置の平準化にも貢献する施業方法であるといわれている。環境保全の面では、生態的に成熟度の高い段階を長く保ち、木材生産機能と環境保全機能を調和させるのに好ましい施業方法であると考えられている（長池，2008）。

近年、高齢級人工林や長伐期林の研究が行われるようになり、林分の生態的な特徴や成長量などが徐々に明らかとなってきている（大住ら，2000；西園ら，2006；渡邉・茂木，2007）。また、高齢級林分にも対応した収穫予想表の作成が行われ（石橋ら，2005；中澤，2008）、より適切な収穫予測が可能となりつつある。さらに、腐朽害や成長量などを考慮して長伐期化の対象林分を選択すべきと考えられていて（石橋・鷹尾，2002）、徐々に人工林の長伐期化への対応が進みつつあるといえる。しかし課題も多く、既に植栽されている林分を長伐期へ移行させる場合に、どのような林分であれば長伐期化が可能であるのか、あるいはどのような施業を行うべきなのかなどが未確立であることが挙げられる。これは北海道のカラマツ人工林についても同様である。

長伐期施業では、長期にわたって林分を生育させることで、生物害や気象害に遭うリスクが増大する（鈴木，2007）。立地選択などの植栽時の対応ではなく、植栽後に被害リスクを軽減するには、施業によりリスクを制御できることが重要である。気象害の中で風害は、日本の林業経営において最も影響力のある気象害であるが（森林総合研究所，2006）、間伐などの密度管理によって樹形を制御することで、被害の軽減が可能である（北海道立林業試験場ほか，2009）。

一般に風害耐性（耐風性）を判断する樹形の指標として、形状比や樹冠長率などが挙げられる（水井・畠山，1984；渋谷ら，2011）。形状比は樹高と胸高直径の比で表され、樹冠長率は樹高に対する樹冠長の割合で示される。耐風性が高い林分は、形状比が小さく、樹冠長率が大きく、耐風性が低い林分は逆の傾向があるといわれている（玉手，1967；渋谷ら，2011）。また、形状比や樹冠長率と林分密度の関係が知られていて、混んだ林分では形状比は大きく、樹冠長率は小さくなるため（Kilpatrick *et al.*，1981；Rollinson，1988）、これらの形質は密度管理によって制御可能である。

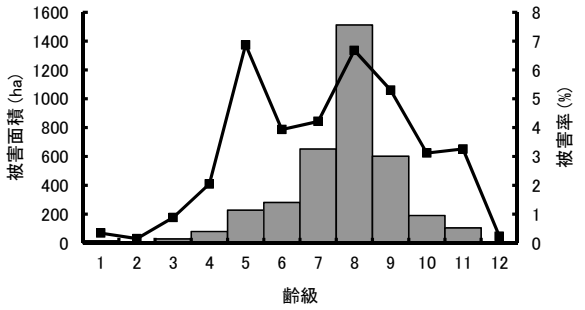
現存する高齢級人工林は、生育途上で何度か強風に遭遇していると推測されるが、それにも関わらず林分として存続していることから、風害に強い林相を備えていると考えられる（Everham III and Brokaw, 1996）。そのため、高齢級林分に共通する林相は、長伐期林に必要な林相であると考えられるが、北海道のカラマツ人工林については高齢級林分に共通な林相の特徴の検討が不足していて、さらなる検討が必要な状況にある。

本研究では、北海道のカラマツ人工林の長伐期化の要件を明らかにするため、まず、十勝地方のカラマツ高齢級人工林に共通する林相の特徴を、混み合い度や平均形状比、平均樹冠長率などにより把握した。次いで、既存のカラマツ人工林のデータ（渋谷ら,2011）と比較し、耐風性に強く影響する樹形要素を明らかとし、北海道のカラマツ人工林における風害抵抗性を指標とした長伐期施業の要件について検討した。

Ⅱ．調査地と方法

1. 調査地

北海道十勝地方の中川郡池田町、幕別町、豊頃町、広尾郡大樹町内のカラマツ人工林において調査を行った。「カラマツ人工林施業の手引き」（北海道立林業試験場, 2007）の地位別地域区分によると、池田町、幕別町は特・Ⅰ等地、 豊頃町、大樹町はⅡ等地に分類される。また、十勝総合振興局管内の民有林（面積 277,551ha）では、2002 年以降だけでも 3 回、合計被害面積が 15,000ha に及ぶ風害が発生している（北海道庁私信）。特に 2006 年の被害が大きく、カラマツ林だけでも約 3,700ha の林分が風害を受け、5 齢級以上で被害率が大きい（図 1）。本研究では、林齢 55 年生以上を目安として調査林分を選定したが、対象地域周辺では数多くの林分が風害に遭っているにも関わらず、健全な状態で残存してきた林分であるため、対象林分は耐風性が高いと考えられる。



図－1. 2006 年の十勝総合振興局管内のカラマツ人工林における齢級別風害面積と被害率

棒グラフは被害面積、折れ線グラフは被害率を示す。データの出典は北海道庁私信。

2. 方法

2.1. 林分調査

2009 年 10 月に、林齢 54～80 年生のカラマツ人工林 20 林分で毎木調査を行った。風害発生に対する地形の影響を避け、耐風性の高い林相を明らかにするため、できるだけ平坦地の林分を選定し、20 林分の内 16 林分はほぼ平坦地に位置し、4 林分は傾斜 10 度未満の緩斜地に位置する林分であった。各林分で、方形区（面積 15×70m²～25×50m²）を設置し、林冠を構成する樹木の樹種、樹高、胸高直径、枝下高を測定した。なお、方形区の設置に際しては、ギャップや林縁などは含めないようにした。

測定結果から、中島式材積計算式（北海道, 2012）を用いて幹材積を求めた。また、「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」（北海道立林業試験場, 2008）を用いて地位指数を求め、地位区分は「カラマツ人工林施業の手引き」（北海道立林業試験場, 2007）に従い、地位指数 18 未満をⅢ等地、18 以上 22 未満をⅡ等地、22 以上 26 未満をⅠ等地、26 以上を特等地とした。樹木の耐風性の指標である形状比と樹冠長率を式（1）、（2）により求めた。

$$\text{形状比}=100\times\frac{H}{D} \qquad (1)$$

$$\text{樹冠長率}=\frac{H-Hb}{H} \qquad (2)$$

ここで H：樹高（m）、D：胸高直径（cm）、Hb：枝下高（m）である。

さらに林分の混みあい方を、林野庁（1999）の北海道地方カラマツ林分密度管理図を用いて収量比数を求めて検討した。形状比と樹冠長率については林分平均値を用いて、高齢級林分に共通する特徴を検討した。

2.2. 林分密度管理による施業指針

調査結果より得られたカラマツ高齢級林分に共通する特徴から、長伐期化に必要な施業指針について検討した。後述するように、カラマツ人工林の長伐期化には樹冠長率が重要な条件であったが、樹冠長率や枝下高は過去の施業履歴や地位、林齢などによって大きく変動する。また、人工林の密度管理は収量比数を目安に行うのが一般的である。収量比数は林分の相対的な混み具合を示すものであり、間伐によって収量比数を調整し、林分は目的とする適切な密度に維持される。本研究では、樹冠長率を所定の値に維持する密度管理を長伐期化の施業指針としようと考えたが、カラマツ人工林の収量比数と樹冠長率との関係は、これまであまり検討されていない。そこで、北海道内の国有林のカラマツ人工林収穫試験地（森林総合研究所北海道支所・道内 5 営林（支）局, 1995）

のデータを用いて、カラマツ人工林の収量比数と樹冠長率の関係を検討した。

これらの収穫試験地は全道に 33 林分が設定され、密・中庸・疎仕立てに分けられ、密度管理が行われている。密度管理の目安は、間伐後の相対幹距（%）が、密仕立て：20、中庸仕立て：23、疎仕立て：28 となるよう間伐が行われている。33 林分の内、密仕立て林分は 15 林分、中庸仕立て林分は 13 林分、疎仕立て林分は 4 林分であり、管理基準不明が 1 林分含まれている。使用したデータは、森林総合研究所北海道支所・道内 5 営林（支）局（1995）に公表されたデータの他、森林総合研究所北海道支所所蔵の 2008 年 10 月までの継続調査データである。最終測定時の林齢は 43～57 年生、間伐回数は 2～8 回であった。一部測定が行われていない場合もあるが、胸高直径、樹高、枝下高、樹冠幅、樹冠級が測定されている。

樹冠長率と収量比数の検討では、まず、各間伐前の段階の試験地を収量比数階に分け、収量比数階ごとに樹冠長率と上層高の関係を示す近似曲線を求めた。この近似曲線と収量比数階の中央値を用いることによって、逆に、ある上層高について、各収量比数での樹冠長率を予測することができる。そして、カラマツの地位指数曲線式（梅木，八坂，滝谷私信）を用いることによって、各収量比数について、任意の地位、林齢の時の樹冠長率を求めることでき、各林齢において、ある一定の樹冠長率を維持するために必要な収量比数値を予測することができる。本研究における上層高は樹高上位 100 本/ha の平均樹高である。また、上述したとおり、樹冠長率は過去の施業履歴の影響を受けるため、ある時点における収量比数値との関係のみを検討することはあまり適切ではないが、ここで用いた林分データは、定期的に施業が行われ、収量比数がおおよそ一定になるように管理された林分から得られたものであるため、ある時点における収量比数値で、それまで行われてきた施業の影響を評価することができると仮定した。一定の樹冠長率を維持するために必要な密度管理については、地位区分は特等地とⅠ等地、収量比数は 0.6～0.9 までを検討の対象とした。

III. 結果

1. 高齢級林分の林相の特徴

本研究では、全ての林分で上層木はカラマツのみであった。カラマツ以外では、多くの林分で天然生広葉樹が出現したが、全て下層木であった。

林齢は 60 年未満が 17 林分で、60 年以上は 3 林分であった。密度は 108～506 本/ha、蓄積は 207～547m^3/ha、平均樹高は 22.2～32.8m、平均胸高直径は 27.6～49.5cm、平均枝下高は 10.4～15.9m、平均樹冠長率は 0.42～0.62、平均形状比は 68～90 であり、地位指数は 22～30、収量比数は 0.37～0.81 の範囲にあった（表 1）。

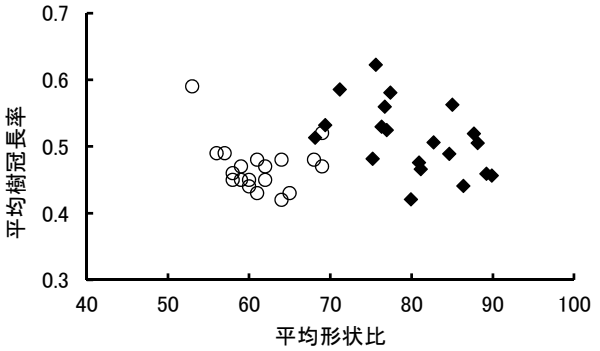
収穫予測表（北海道立林業試験場，2007）では植栽本数が 2000～2500 本/ha、地位区分が特等～Ⅰ等地で中庸仕立てのカラマツ人工林の 60 年生時の密度が 350～450 本/ha とされているのに対し、本調査林分の密度は 350 本/ha 未満が 15 林分で、密度の小さい林分が多かった。また、収穫予測表での蓄積は 383～482m^3/ha であるが、14 林分はこの値よりも蓄積が小さかった。収量比数はばらつきが大きかったが、17 林分で収量比数が 0.7 以下、過半数の 12 林分で 0.6 未満であった。地位は全ての林分で、特等地もしくはⅠ等地であり、特等地が 15 林分、Ⅰ等地が 5 林分であった。

台風被害を受けた北海道中央部のカラマツ人工林で樹形の調査を行った渋谷ら（2011）は、風倒抵抗性が高く、ほぼ無被害の林分の樹形は平均形状比が 70 未満、平均樹冠長率が 0.45 以上であったことを報告している。本研究の調査結果を渋谷ら（2011）の結果と比較すると、本調査地は、平均樹冠長率が 0.45 より大きい林分が全体の 9 割あり、樹冠長率は渋谷らの無被害林の値とほとんど一致していた。一方、形状比については、平均形状比 70 以上の林分が 9 割で、渋谷らの結果とは分離していた（図 2）。また、平均樹冠長率－平均形状比関係では負の相関がみられた（$r=-0.45$, $p<0.05$，図 2）。

表－1. 調査林分の林況

林分	林齢	密度(本/ha)	蓄積(m^3/ha)	樹高(m)※	胸高直径(cm)※	枝下高(m)※	樹冠長率※	形状比※	地位指数	地位区分	収量比数
a	54	380	446	28.4±1.7 25～32.4	33.3±4.5 25.4～43.4	15.9±3.2 6.4～20.6	0.44±0.10 0.32～0.75	86±9 65～107	28	特等地	0.71
b	55	276	467	29.2±3.4 21.9～35.3	39.6±6.2 27.6～52.9	11.1±3.7 5.8～19.2	0.62±0.11 0.37～0.80	76±15 50～98	30	特等地	0.65
c	55	267	376	31.3±2.1 27.4～35.9	36.5±6.6 24.7～51.9	15.1±4.3 8.6～21.3	0.52±0.13 0.35～0.72	88±11 65～115	30	特等地	0.59
d	55	170	207	29.1±2.4 24.6～33	33.5±4.7 23.7～43.2	14.4±3.7 6.0～20.8	0.51±0.12 0.30～0.80	88±12 73～119	28	特等地	0.37
e	56	400	417	27.5±2.3 22.4～31.8	31.5±5.9 19～42.5	15.0±2.9 9.6～24.2	0.46±0.09 0.23～0.65	90±15 60～136	28	特等地	0.69
f	56	237	307	27.1±4.2 17.9～33.7	36±4.3 27.7～46.9	12.6±2.1 7.8～16.4	0.53±0.10 0.35～0.74	76±15 56～115	28	特等地	0.51
g	56	229	254	27.5±1.8 23.9～30.8	33.1±4.2 21.3～39.7	14.1±4.0 5.5～18.5	0.49±0.14 0.29～0.80	85±12 63～124	26	特等地	0.46
h	56	310	355	26.1±2.3 18.3～30.5	34.2±5.0 23.3～44.0	10.9±3.4 3.1～17.4	0.58±0.13 0.36～0.88	77±9 61～97	26	特等地	0.59
i	56	245	321	27±2.1 21.7～32.2	35.8±5.9 22.4～54.6	12.0±4.5 3.9～20.3	0.56±0.16 0.33～0.86	77±9 54～97	26	特等地	0.53
j	57	370	430	27.5±2.9 22～32.8	33.6±4.3 27.2～43.0	13.5±2.4 8.8～18.6	0.51±0.09 0.31～0.64	83±10 65～100	28	特等地	0.69
k	57	335	211	22.2±2.1 18.6～26.6	27.6±2.5 23.2～34.3	11.9±2.2 8.1～17.9	0.47±0.09 0.27～0.63	81±11 63～105	22	Ⅰ等地	0.48
l	57	250	260	24.9±2.1 19.2～28.2	33.5±4.3 27.0～40.9	12.9±3.3 4.4～16.1	0.48±0.13 0.35～0.82	75±10 51～91	24	Ⅰ等地	0.48
m	57	180	207	25±2.7 19.2～29.7	35.5±3.6 25.6～42.2	10.4±2.8 4.5～15	0.59±0.10 0.40～0.77	71±10.7 51～98	24	Ⅰ等地	0.38
n	58	253	287	25.9±1.9 20.3～29.8	34.3±4.9 23.3～43.0	12.3±2.5 6.5～18.4	0.52±0.10 0.27～0.74	77±12 58～109	25	Ⅰ等地	0.50
o	58	270	342	25±2.8 18.9～29.5	36.9±5.8 24.5～52.0	11.7±3.2 7.0～20.2	0.53±0.11 0.23～0.72	69±12 43～100	25	Ⅰ等地	0.56
p	59	360	547	29.8±2.7 25.1～34.6	37.2±4.5 27.7～46.9	15.6±3.5 9.2～24.8	0.48±0.11 0.24～0.65	81±10 54～108	30	特等地	0.76
q	59	335	350	26.2±3.4 18.5～32.4	33.0±2.6 27.4～39.4	15.3±2.7 9.3～21.6	0.42±0.05 0.32～0.56	80±11 56～104	27	特等地	0.61
r	62	328	373	27.8±2.7 22.2～33.7	33.1±4.6 23.2～44.7	12.1±3.0 5.3～18.4	0.56±0.10 0.36～0.78	85±12 67～127	27	特等地	0.62
s	68	506	511	27.3±3.8 20.4～34	31.3±5.2 21.3～42.3	14.7±3.3 8.4～21.9	0.46±0.11 0.21～0.66	89±17 59～151	28	特等地	0.81
t	80	108	323	32.8±3.2 28.1～37.7	49.5±8.4 37.5～62.7	15.9±2.7 9.6～20.5	0.51±0.09 0.36～0.69	68±12 52～91	29	特等地	0.39

※上段は平均値±標準偏差、下段はデータ範囲（最小～最大）を示す。

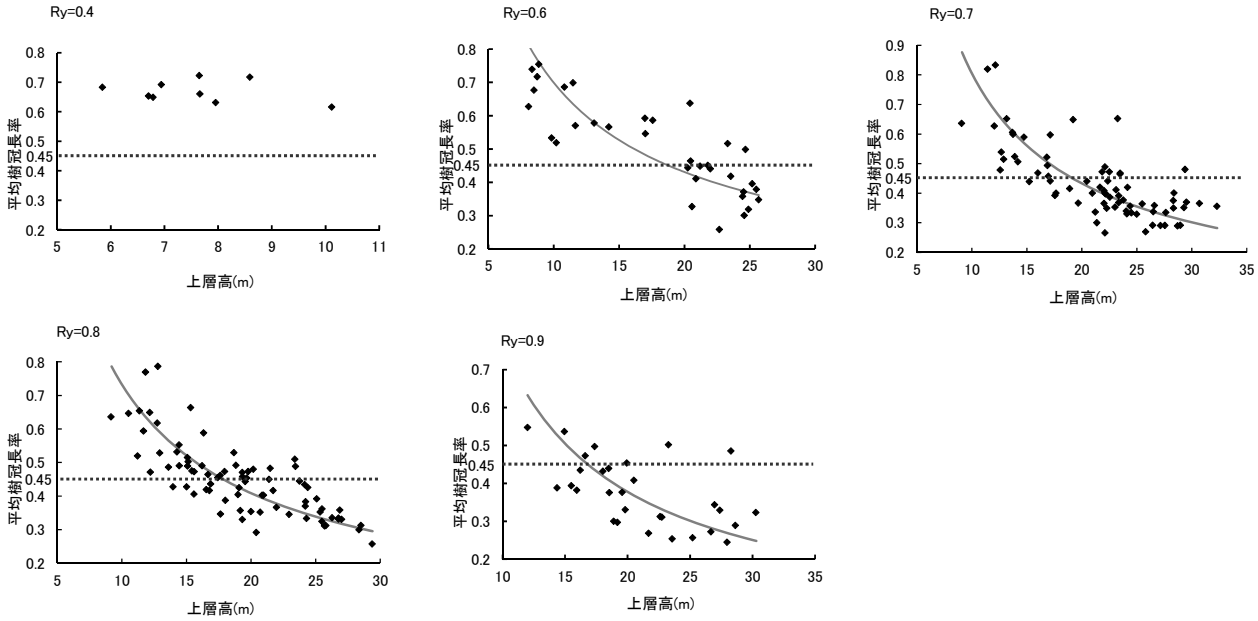


図－2.　平均樹冠長率と平均形状比の関係

◆：本調査林分（n=20）、○：渋谷ら（2011）の無被害カラマツ人工林（n=19）。
本調査林分で有意な負の相関がみられた（$r=-0.45$, $p<0.05$）。

2. 樹冠長率と林分の混みあい度

既述のように、人工林の長伐期化には耐風性が重要な要素である。前節の結果から、疎仕立て状態により高い樹冠長率が維持されていることが、高齢級人工林の耐風性の向上につながっていることが示唆される。そこで、北海道内の国有林のカラマツ人工林収穫試験地（森林総合研究所北海道支所・道内 5 営林（支）局，1995）のデータにより、収量比数階ごとに林分の平均樹冠長率と上層高の関係を比較した（図 3）。ただし、収量比数階＝0.4～0.5 のデータ数は少なかったため、これらについては検討できなかった。収量比数階＝0.6～0.9 では、平均樹冠長率と上層高の関係を求めることができ、すべての収量比数階で、平均樹冠長率は上層高の増加に伴い減少する傾向を示した（図 3）。耐風性の判断基準と考えられる平均樹冠長率が 0.45 となる上層高は、収量比数階＝0.6（収量比数：0.55～0.65）では 18.8m、収量比数階＝0.7（同 0.65～0.75）では 19.2m、収量比数階＝0.8（同 0.75～0.85）では 17.8m、収量比数階＝0.9（同 0.85～0.95）では 16.8m であった。また、上層高が等しいとき、収量比数が大きいほど平均樹冠長率は小さくなる傾向を示した。



図－3. 上層高と平均樹冠長率の関係

Ry=0.4 については有意な回帰が得られなかった。点線は樹冠長率=0.45 を示す。
また、例えば Ry=0.6 は、0.55≦Ry＜0.65 の林分である。上層高は樹高上位 100 本/ha の平均樹高である。
各収量比数階の回帰式と決定係数 R^2 は、次のとおりである。
Ry=0.6: $y=3.49x^{-0.70}$ (R^2=0.63)、 Ry=0.7: $y=6.32x^{-0.90}$ (R^2=0.58)、 Ry=0.8: $y=5.11x^{-0.84}$ (R^2=0.64)、
Ry=0.9: $y=7.78x^{-1.01}$ (R^2=0.36)。全ての収量比数階において、回帰は 1%水準で有意である。

Ⅳ. 考察

1. 高齢級林分の林相の特徴

一般に、針葉樹人工林では収量比数 0.5～0.6 が疎仕立て、0.6～0.7 が中庸仕立て、0.7～0.8 が密仕立てとされている。本研究の調査地は、調査時の収量比数では 12 林分が疎仕立てもしくはそれ以下、5 林分が中庸仕立て、3 林分が密仕立てに分類された（表 1）。また、およそ 3/4 の林分が密度、蓄積ともに、収穫予測表の中庸仕立ての値より小さかった。これらのことから、比較的疎な管理を行ってきた林分が高齢まで残存してきたと考えられる。針葉樹人工林では、疎仕立て林分の耐風性が高いこと（水井・畠山, 1984；諫本・高宮, 1992）、台風による被害を受けた林分は無被害林と比較して被害時の本数密度が高いこと（鳥田，2006）が報告されていて、本調査林分でも、多くが疎仕立て状態で耐風性が高かったために、林分として存続できたと考えられる。しかし、調査地の具体的な施業履歴は不明であり、現在疎なだけであるのか、あるいは継続的に疎な管理が行われてきたのか、これまでどのような密度で推移してきたのかは不明である。また平均樹冠長率が大きいにも関わらず収量比数の大きい林分があり（表 1）、過去の密度管理方法の違いが、収量比数のばらつきに影響している可能性が考えられる。今後高齢級林分に対する理解をより一層深めるためには、植栽本数や間伐の頻度・強度などの保育体系と、林相の特徴の関係を明らかにすることが必要であると考えられる。

耐風性に関わる樹形要素である樹冠長率（玉手, 1967；水井ら, 1983；中村ら, 1995；Benecke, 1996；藤森，2003）は平均 0.45 以上の林分がほとんどであったが、形状比については、風害を受けづらいとされる 70 未満（諫本・高宮，1992；渋谷ら，2011）の林分はわずか 2 林分であった。樹冠長率と形状比には負の相関があるという結果（図

2）は、先行研究（渋谷ら，2011）と一致していた。本研究では、高齢級林分は風倒抵抗性が高いと仮定し、平均樹冠長率、平均形状比ともに風倒抵抗性が高いとされる林分の調査結果とおおよそ一致するであろうと予測していた。平均樹冠長率の結果は、この予測と合致したが、平均形状比は合致しなかった。そのため、これら 2 つの樹形要素を比較すると、樹冠長率は単独で様々な林齢・地位の針葉樹人工林の風倒抵抗性の指標とできる可能性があるが、形状比は、異なる地域の高齢級人工林間では安定した指標ではない可能性が考えられる。したがって、風倒抵抗性に対してより汎用性のある指標となる可能性が高いのは樹冠長率であるといえる。

これまで、一般に形状比は耐風性を指標する重要な樹形の要素であるといわれてきており（水井・畠山，1984；Wilson and Oliver，2000）、樹冠長率よりも形状比がよく用いられてきた。これは、枝下高を測る手間から樹冠長率のデータが少なかったことや、林分密度管理図上で直接樹冠長率のデータが使えないことから、樹冠長率よりも形状比が耐風性の指標として利用しやすかったためだと考えられる。しかし、本調査林分のような地位の高い高齢級人工林を含めた場合、耐風性の指標としては樹冠長率の方が有効であり、このことは、今後益々増加が予想される高齢級林分の風害リスクマネージメントを考えるにあたって重要な情報であると考えられる。

図 2 に示した平均樹冠長率と平均形状比の関係が調査地によって分離した原因として地位の違いが考えられる。支笏湖周辺で 2004 年に発生した台風被害の研究を行った渋谷ら（2011）のデータから、本調査林分とほぼ同齢の 51～59 年生のカラマツ無被害林分のデータを抜き出し、本調査林分のデータと比較すると、渋谷ら（2011）の調査林分の平均樹高は 21.1m で、本研究は 27.4m であり、本調査地の方が 6m 以上高かった。つまり本調査地の方が地位が高く、形状比は樹高が高いと大きくなるため、地位が高いことにより、本研究の形状比が大きくなったと考えられ、平均樹冠長率―平均形状比関係も地位によって分離すると考えられる。

2. 林分密度管理指針

各収量比数階では、上層高が大きくなると樹冠長率が小さくなった（図 3）。これは、葉が生存できる光量の限界が決まっており、一般に針葉樹人工林では、樹高成長しても樹冠長がほぼ一定に保たれることに起因すると考えられる（千葉, 2009）。

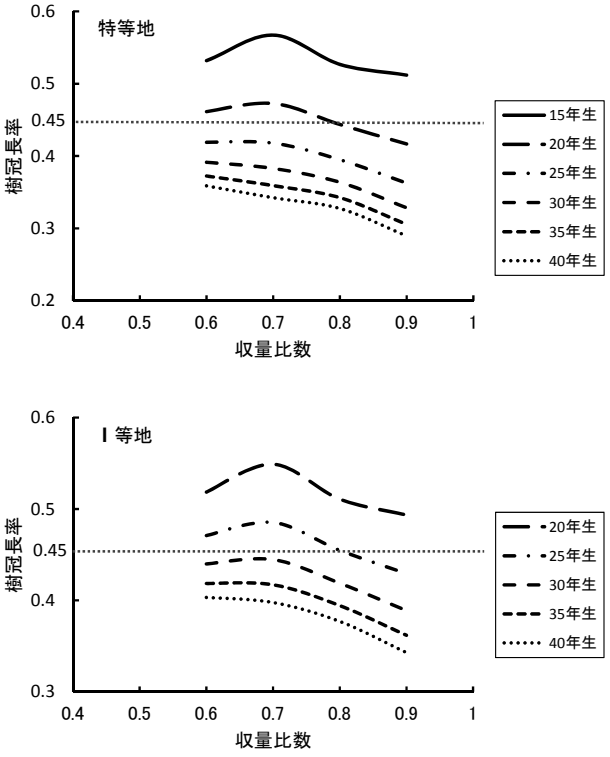
今回の調査結果より、カラマツ人工林の長伐期施業林において、耐風性を備えるためには樹冠長率が重要であり、カラマツ人工林を長伐期化するには、平均樹冠長率を 0.45 以上に維持することが必要であるという仮定が考えられる。

一般に若齢林は風害に遭いにくいとされるが、ある成長段階を超えると風害確率は急激に上昇し、風害を受けやすくなるといわれている（Gardiner and Quine，2000）。Moore and Quine（2000）の報告では、ラジアータパイン（*Pinus radiata* D.Don）では樹高 12m 以上で風害確率が上昇すること、樹高 15m 以上で風害が発生する風速である限界風速が減少することが示されている。また、Slodičák（1995）は、ヨーロッパトウヒ（*Picea abies* Karst.）で樹高 10～15m から風害が発生しやすくなると述べている。Ruel（1995）は、マリアナトウヒ（*Picea mariana*（Mill.）B.S.P.）は樹高 19m で、100 年に一度発生する強風と同等の風速が限界風速となることを示している。これらの事例から、樹高 15m となるまでには耐風性に対する備えが必要であると考えられる。カラマツの地位指数曲線式（梅木・八坂・滝谷私信）を用いて、上層高 15m に達する林齢を地位別に求めると、特等地ではおよそ 15 年生時、Ⅰ等地ではおよそ 20 年生時である。よって長伐期化を図るカラマツ人工林では、特等地では 15 年生時に、Ⅰ等地では 20 年生時に、本研究の結果から仮定される平均樹冠長率が 0.45 以上という条件を満たしていることが必要だといえる。十勝地方のカラマツ防風林では 21～30 年生の林分で風害を最も受けやすいこと（鳥田，2006）や、図 1 に示した齢級別の被害率からも、その必要性が示唆される。

収量比数階ごとにみると、上層高が大きくなるにつれて、樹冠長率が小さくなることから（図 3）、林分の耐風性を保つには、上層高の小さい段階から間伐等の密度管理を行い、収量比数を管理する必要がある。この時の管理指針を検討するため、

図 3 の近似曲線を用いて、15～40 年生を対象に、5 年ごとに収量比数と樹冠長率の関係を求めた（図 4）。地位は特等地（地位指数 26）とⅠ等地（地位指数 22）を仮定し、地位別に検討した。その結果、平均樹冠長率 0.45 以上を維持するためには、特等地では 15 年生までは密度管理は不要であるが、20 年生時には収量比数 0.8 以下の管理が必要であり、収量比数 0.6 以下のデータ数が十分でなかったため具体的な収量比数値は検討できないが、25 年生時以上では 0.6 を下回る疎な管理が必要である。また、Ⅰ等地では 25 年生以上で密度管理が必要で、25 年生の時は収量比数は 0.8 以下、30 年生以上では収量比数 0.6 未満の管理を行う必要があることがわかる。このように、いずれの地位でも、長伐期施業を行うにあたっては、25～30 年生以下の若齢な段階から疎な管理を行わなければならないことが示され、林齢にともなってさらに疎な管理とすることが必要となる（図 4）。

一方、木材生産を考えた場合、収量比数を小さくすることは蓄積を小さくすることになり、収穫量と収入の低下につながる。例えば、収量比数を 0.6 で管理する林分の蓄積は、収量比数が 0.8 で管理される林分の蓄積の 75%にまで減少する。しかし、長伐期施業においては、主伐期まで被害に遭わずに残存することが重要であり、さらに疎な管理により径級の大きな良質材が生産される可能性があり、収量比数を小さく維持することの不利益を補償できる可能性も考えられる。



図－4. 収量比数と樹冠長率の関係.

特等地は地位指数 26、Ⅰ等地は地位指数 22 の場合を示す。
点線は、樹冠長率=0.45 を示す。

謝　辞

研究を進めるにあたり、北海道大学農学部造林学研究室の小池孝良教授、斎藤秀之講師にご指導、ご助言をいただいたことを深く感謝いたします。

調査地の選定などにあたり、北海道十勝総合振興局森林室池田分室の大橋徹也氏、十勝総合振興局森林室の今野正彰氏（所属は調査実施当時）には様々な便宜を図っていただきました。お礼申し上げます。

参考文献

Benecke, U.（1996）Ecological silviculture: The application of age-old methods. New Zealand Forestry, August: 27－33.

千葉幸弘（2009）長伐期化への道筋を考える（II）－樹冠長を目安とした高齢林の管理．森林技術, 802: 11－17.

Everham III, E.M. and Brokaw, N.V.（1996）Forest damage and recovery from catastrophic wind. Bot. Rev., 62: 113 – 185.

藤森隆郎（2003）第6章 育林の個別技術．（新たな森林管理 持続可能な社会に向けて．国林業改良普及協会）．149－247.

Gardiner, B.A. and Quine, C.P.（2000）Management of forests to reduce the risk of abiotic damage －a review with particular reference to the effects of strong winds. For. Ecol. Manag., 135: 261－277.

北海道（1985）カラマツ人工林の期待収益－長伐期施業のすすめ－．林業専門技術員調査研究報告書, 59: 1－22

北海道（2013）平成 23 年度　北海道林業統計. http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/rin-toukei/23rtk.htm（2013年8月13日閲覧）

北海道（2012）中島式材積計算式. http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srk/hyouka/charact/life-co2-01-2.htm（2012 年 2 月 3 日閲覧）

北海道立林業試験場（2007）カラマツ人工林施業の手引き．北海道立林業試験場.

北海道立林業試験場（2008）北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト. http://www.fri.hro.or.jp/syukakuyosoku/syukakuyosoku.html（2012年2月3日閲覧）

北海道立林業試験場・北方建築総合研究所・北海道大学（2009）森林の構造と立木の風害抵抗性に関する検討 1針葉樹人工林の風害発生と樹形の関係．（平成18～20年度 重点領域特別研究報告書 台風による森林被害（風害）を軽減するための森林整備技術の開発）．112－127.

諫本信義・高宮立身（1992）1991年9月，台風19号により発生した大分県における森林被害の要因解析．森林立地, 34: 98－105.

石橋　聡・鷹尾　元（2002）長伐期林の経営 北海道におけるカラマツ人工林長伐期化のための条件．（わかりやすい林業研究解説シリーズ No.110 長伐期林の実際－その効果と取り扱い技術－．桜井尚武編著，林業科学技術振興所）．131－137.

石橋　聡･鷹尾　元･高橋正義･猪瀬光雄（2005）長伐期化に対応したカラマツ人工林収穫予想表. 森林総研北海道支所研究レポート, 82: 1－8.

河原輝彦（2001）長伐期林施業．（森林・林業百科事典．日本林業技術協会編，丸善株式会社）．689.

Kilpatrick, D. J., Standarson, J. M. and Savill, P. S.（1981）The influence of five early respacing treatments on the growth of Sitka spruce. Forestry, 54: 17－29.

小林正吾（1976）カラマツ人工林の施業の現状と問題点．北方林業, 28: 312－318.

水井憲雄･畠山末吉（1984）カラマツ人工林の台風被害と耐風性．北海道林試研報, 22: 1－9.

水井憲雄・水谷栄一・福地　稔（1983）昭和56年15号台風によるカラマツ林の風害（Ｉ）－風害木の樹形－．日林北支講, 31: 42－44.

Moore, J. and Quine, C.P.（2000）A Comparison of relative risk of wind damage to planted forests in Border Forest Park, Great Britain, and the Central North Island, New Zealand. For. Ecol. Manag., 135: 345－353.

長池卓男（2008）長伐期林への道しるべ　－生態的な森林管理における位置づけ－．森林技術, 796: 14－19

中村松三･糸屋吉彦･太田敬之･石田秀雄（1995）スギ人工林の林分構造と台風被害．日林論, 106: 401－402.

中澤健一（2008）スギ収穫表の長伐期対応と長伐期化できる林分．メッサ･みやぎ, 21: 5.

西園朋広・澤田智志・粟屋善雄（2006）秋田地方における高齢天然スギ林の林分構造と成長の推移．日林誌, 88: 8－14.

大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斉藤勝郎・佐藤昭敏･関　剛（2000）秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過．日林誌, 82: 179

－187.
林野庁（1999）人工林林分密度管理図. 日本林業技術協会.
林野庁（2011）平成23年版　森林・林業白書. 林野庁.
Rollinson, T. J. D. (1988) Respacing Sitka spruce. Forestry, 61: 1－22.
Ruel, J. -C. (1995) Understanding windthrow: Silvicultural implications. For. Chron., 71: 434－445.
佐々木昌治（1983）風害に強い森林の造成. 北方林業, 35: 173－177.
渋谷正人・浦田　格・鳥田宏行・飯島勇人（2011）北海道中央部の針葉樹人工林における風倒被害と樹形. 森林立地, 53: 53－59.
森林総合研究所（2006）「森林総合研究所　第Ⅰ期中間計画成果 12」研究成果シリーズ No.5「風害・森林火災軽減対策」. 森林総合研究所.
Slodičák, M. (1995) Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage. *In*: Coutts, M. P. and Grace, J. (eds) Wind and trees. Cambridge University Press, 436－447.
鈴木和次郎（2007）林分施業.（主張する森林施業論. 森林施業研究会編, 日本林業調査会）. 88－100.
玉手三棄寿（1967）森林の暴風害とその防除法. 林業技術, 367: 21－25.
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. 日林誌, 88: 489－495.
渡邉仁志・茂木靖和（2007）92年生スギ人工林における成長過程と現存量. 岐阜県森林研報, 36: 1－7.
Wilson, J.S. and Oliver, C.D. (2000) Stability and density management in Douglas-fir plantations. Can. J. For. Res., 30: 910－920.

Summary

We investigated stand conditions and tree shape factors affecting the resistance to windthrow in 54－80 year-old *Larix kaempferi* plantations in Tokachi region to examine a management guideline for long rotation management. We estimated the mean slenderness ratio (*H/D* ratio) and mean crown length/tree height ratio (C_L ratio) from tree inventories of the *L. kaempferi* plantations. Many stands showed low densities, small stand volumes and small yield indices, and it was concluded that most plantations were in the sparse management. Mean *H/D* and C_L ratios were 68－90 and 0.42－0.62, respectively. Mean C_L ratios of the investigated plantations were consistent with the value of *L. kaempferi* plantations resistant to windthrow, however, mean *H/D* ratios weren't. Consequently, mean C_L ratio was more general as an index of resistance to windthrow than mean *H/D* ratio. We assumed that mean C_L ratio ≥ 0.45 was necessary for long rotation management of *L. kaempferi* plantations and examined a management guideline to keep the mean C_L ratio ≥ 0.45. In plantations of site index Ⅰ, the yield index must be less than 0.8 when 25 years old, and be less than 0.6 when older than 30 years old. It was concluded that *L. kaempferi* plantations must be kept sparse gradually with stand growth for the long rotation management.

Keywords: *Larix kaempferi*, long rotation management, resistance to windthrow, crown length/tree height ratio, slenderness ratio