

高密度植栽されたカシワ海岸林に対する除伐の効果

—釧路市音別町における事例—

真坂一彦^{1*}・佐藤 創¹・鳥田宏行²・阿部友幸¹・岩崎健太¹・今 博計¹・明石信廣¹

Thinning effect on a coastal *Quercus dentata* forest by extra-high density planting.

- a case study in Kushiro Onbetsu, Hokkaido -

Kazuhiko Masaka^{1*}, Hajime Sato¹, Hiroyuki Torita², Tomoyuki Abe¹, Kenta Iwasaki¹,
Hirokazu Kon¹ and Nobuhiro Akashi¹

Abstract: To demonstrate the intensive thinning effect on the coastal forest by extra-high density planting, survival and radial growth of trees were investigated for a 16-year-old *Quercus dentata* stand by setting up 30%-thinned-, 60%-thinned- and control plots. The plots were censused every 3 years for consecutive 12 years. Radial growth of 30%-thinned plot was slightly larger than that of control plot only in 2004-2007 period. Greater radial growth was observed in 60%-thinned plot just after thinning treatment for consecutive 9 year. Gini coefficient of 30%-thinned plot achieved the same level with control plot, whereas the coefficient of 60%-thinned plot was always lower than control plot. Canopy layer closed during 6 years after thinning in both thinned plots. Our result suggests that 30% thinning has little effects on the improvement of radial growth and further more intensive thinning has to be necessary for the density control of the coastal forest by extra-high density planting.

1 はじめに

全国的に、手入れ不足による海岸林の過密化がしばしば指摘されている(坂本ら 2007, 2010)。海岸林は、植栽後の速やかな林冠の鬱閉を期待するため、10,000 本/ha という高密度で植栽されてきた。最近では、5,000 本/ha 植栽も行われるようになったが、経済林における植栽本数と比較すれば、それでも高密度であることに変わりない。一般に、人工林を造成する場合、最終的に目標とする密度以上に植栽されるため、林齢とともに密度管理が必要になる。とくに高密度で植栽され、なおかつ林冠が鬱閉したまま樹高成長を続けている林分の場合、林木の健全な成長を期待するためには早期に強度の除伐が必要となる。

海岸林において密度管理が遅れる理由として、坂本ら(2007)は次の2点を指摘している。すなわち、①立木本数を減らすことによる飛砂防備機能や防風機能の低下への危惧、②残存木への風当たりが強くなることで林帯が衰退するのではないかという不安である。これらの不安を払拭する科学的データに加え、強度の除伐事例報告や、その除伐効果に関する報告がほとんどないため、強度の除伐を推奨しようにも参考にするものがない。そのため、強度の除伐

はますます行われたいという悪循環が発生することになる。たとえば北海道の海岸林では、3 齢級以上の林分について材積率で 20%程度の除伐が行われている。この伐採率は、保安林を管理するための指針である保安林指定施業要件の間伐率に従ったものである。多くの海岸林は飛砂防備保安林などの保安林に指定されており、平成 14 年以前は保安林指定施業要件において間伐率上限が 20%と定められていた。平成 14 年に 35%に改訂されたものの、それ以前に造成された保安林は、35%を適用するには「指定施業要件の変更の告示」を行う必要があり、そのため 20%がそのまま適用され続けているところが多い。本来、森林法では除伐に伐採率上限が定められていないが、公的機関に所属する現場担当者としては、具体的でかつ公的な数値を求めてそれに頼らざるを得ない。しかし、高密度状態の林分で高々 20%の木々を除去したとしても高密度状態であることに変わらない。しかも除伐対象木は下層木に大きく偏る傾向がある(中沢 [1986]も参照)。下層間伐は被圧によって近い将来に枯死する運命にある木を伐採するだけなので、下層木を主体とした現行の除伐方法が、残存木の成長にどの程度の効果を与えているのか甚だ疑わしい(菊沢 1978, 1981)。このような疑問に答えるような、現行の除伐方法の効果に関する実証報告もない。

海岸林において除伐による残存木の健全な成長を促すとは、樹冠の枯上がりを抑えるだけでなく、幹の力学的強度を増すために肥大成長を促すことにほかならない。なぜならば、幹そのものの流体に対する抵抗力は、一義に幹の直径で決まるためである(浅

¹ 北海道立総合研究機構林業試験場, Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kosyunai, Bibai, Hokkaido 079-0198, Japan, ² 北海道立総合研究機構林業試験場道南支場, Donan Branch Station, Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kikyo, Hakodate, Hokkaido 041-0801, Japan

*Corresponding author: masaka-kazuhiko@hro.or.jp

野ら 2007). そこで本研究では, 幹の肥大成長に対する除伐の効果を検証するため, 北海道釧路市音別町において高密度植栽されたカシワ海岸林を対象に, 現行の除伐強度に近い除伐処理に加え, その2倍の除伐強度を施した除伐試験地を設定し, 除伐後12年間にわたって個体成長と個体数動態について追跡調査を行った. なお, 本研究における調査期間の前半6年分については予報として公表されている(真坂ら 2009).

2 調査地と調査方法

2.1 調査地

調査を行ったカシワ海岸林は, 釧路市音別町風連の海浜において防霧保安林として1985年に造成されたものである(1142林班21小班)(図1). 除伐試験地の設定は2001年10月に行ったため, 試験地設定時の林齢は16年生である. 原植密度は植栽間隔から10,000本/haと推定された. 海側の林縁は, 汀線から約100mの距離である. 気象庁による最寄りの気象観測地点は白糖町であり, 気象庁ホームページ(<http://www.data.jma.go.jp>)によると, 白糖町における年平均降水量は1090.4mm, 月平均気温の最高は8月の17.8°C, 最低は1月の-6.7°C, そして最深積雪は2月に43cmとなっている(1981年~2010年).

このカシワ海岸林は泥炭土上に造成されたため, 深さ約1m, 幅約1.5mの排水用の明渠が掘られており, その明渠によって9つの区画に区切られている(図1). 各区画は高さ1.8mの防風柵で囲われている. この小班の範囲が不整形であるため, それぞれの区画はほぼ四角形であるものの, 区画によって面積が異なる. この9つの区画から, 3つの区画を任意に選定して除伐試験地とした.

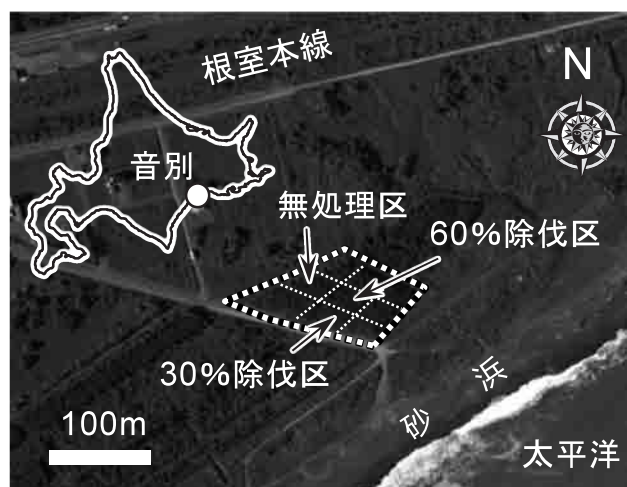


図1 調査地. 国土地理院撮影の空中写真を使用.

2.2 調査方法

試験地には, 除伐強度が本数伐採率にして60%と30%の処理区を設け(それぞれ60%除伐区, 30%除伐区), そして残りの区画を何も伐採しない無処理区として設定した(図1). 各処理区的面積は, 60%除伐区が375m², 30%除伐区が325m², 無処理区が292.5m²である. 調査区内のすべてのカシワ個体にナンバー・テープを付けて個体を特定し, 主幹の胸高直径dbhと樹高Hを測定した. Dbhは地上から1.3mの位置での幹直径を, Hは幹の地際付近から垂直に測竿を立てて樹冠頂の到達高を測定した. 平均樹高は4.2~4.5mで, カシワ林の生育区分に関するデータがないため, 金子(2000)によるクロマツ海岸林のデータを参照すると, 本試験地は1等地と2等地の境界付近に相当する. 除伐前の個体密度は60%除伐区が5076.9本/ha, 30%除伐区が5200.0本/ha, 無処理区が5435.9本/haで, 林冠は鬱閉していた. この個体密度は, 森林総合研究所(2011)によるクロマツ海岸林の目標本数密度における形状比70の場合に照らし合わせると, 上限65%とされる相対密度にほぼ匹敵する混み具合である. つまり, 除伐が早急に必要とされる林分である. 本試験での除伐はやや下層木に偏ったが, 林冠木も積極的に伐採対象とした. 除伐後, 60%除伐区の個体密度は2266.7本/ha,

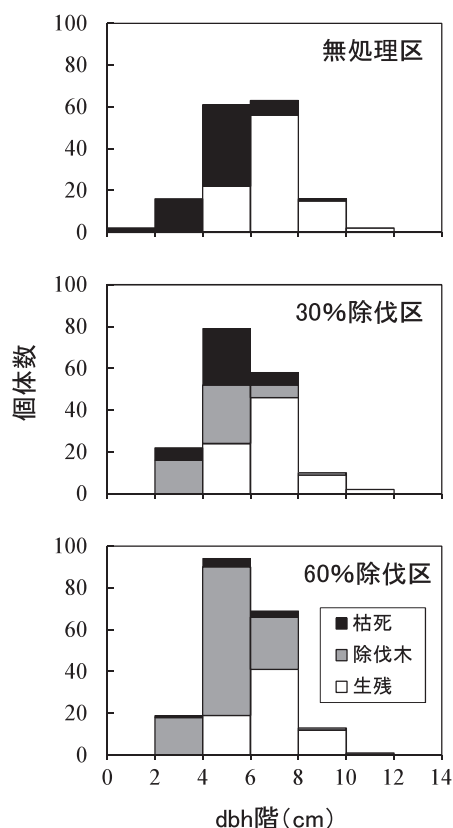


図2 各処理区における除伐直前のdbh階別出現頻度分布. 枯死および生残は2013年時点.

30%除伐区は 3630.8 本/ha になった. 図 2 に dbh 階別出現頻度分布を示す. 調査地設定後, 3 年ごとに生育期間終了時期に毎木調査を行い, 個体の生残状況を記録し, 生残している場合は dbh の再測定を行った. 調査期間は 2001 年から 2013 年までの 12 年間である.

2.3 除伐効果の評価

幹の肥大成長 (DG : Diameter Growth) に対する除伐強度の効果は, 2001 年~2004 年 (I 期), 2004 年~2007 年 (II 期), 2007 年~2010 年 (III 期), 2010 年~2013 年 (IV 期) の 4 期間ごとに評価した. DG は期首 dbh に依存するため, 各期間 (3 年間) における DG に対する除伐強度の効果は, 以下の一般化線形モデル GLM によって分析した.

$$(式 1) \quad DG = f_1(x) + f_2(x) \cdot \text{期首 dbh}$$

$$(式 2) \quad f_i(x) = a_{i,0} + a_{i,1} \cdot \text{処理区} + a_{i,2} \cdot \text{次の期間中の生死}, (i = 1 \sim 2)$$

ここで, 関数 $f_1(x)$ は DG 期首 dbh 関係における切片, $f_2(x)$ は傾きに相当する. $a_{i,j}$ ($i = 1 \sim 2, j = 0 \sim 2$) は回帰係数, 「期首 dbh」は各期間における期首年の dbh, 「処理区」はカテゴリー変数で, 「無処理区」, 「30%除伐区」, 「60%除伐区」の 3 種類ある. 説明変数にカテゴリー変数としての「次の期間中の生死」を加えたのは, 次の期間中に成長し続ける個体と枯死する個体のあいだで, DG 期首 dbh 関係が異なる傾向にあることを考慮したためである (図 3 参照). つまり, DG が I 期であれば, 「次の期間中の生死」とは, II 期における生死ということなる. このカテゴリー変数は, 「生」または「死」の 2 種類である. 最終期間である IV 期の DG については「次の期間中の生死」は除外される.

DG 期首 dbh 関係における切片 $f_1(x)$ と傾き $f_2(x)$ における除伐効果の評価に当たっては, ①「処理区」を切片 $f_1(x)$ ・傾き $f_2(x)$ の両方に含めた場合,

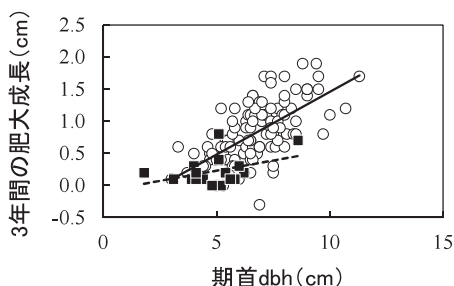


図 3 無間伐区の I 期における肥大成長一期首 dbh 関係の例. ○ : II 期に生存し続ける個体, ■ : II 期中に枯死する個体. 実線は II 期中に生存し続ける個体の予測線 ($Y = 0.195X + 0.494, r = 0.627, P < 0.001$), 破線は II 期中に枯死する個体の予測線 ($Y = 0.047X, r = 0.790, P < 0.001$).

②「処理区」をモデル式の切片 $f_1(x)$ から除外した場合, ③「処理区」をモデル式の傾き $f_2(x)$ から除外した場合, ④「処理区」を切片 $f_1(x)$ ・傾き $f_2(x)$ の両方から除外した場合の 4 条件を検討した. このとき, 三つの処理区については 4 通りの組み合わせを比較して, 説明力が高い組み合わせを選択した. 4 通りの組み合わせとは, 「無処理区」, 「30%除伐区」, 「60%除伐区」をそれぞれ C, W, S とすると, 「C, W, S」, 「C+W, S」, 「C+S, W」, そして 「C, W+S」である. ここで, 二つのグループを一つにまとめるということは, 二つのグループのあいだに有意な差が認められない状態を意味する. 上記 4 条件のうち, ④を除く①~③について, 処理区の 4 通りの組み合わせを評価するため, I 期~IV 期の各期間について 13 種類の組み合わせを計算することになる (3 条件 × 4 通り + 1 条件). これらの組み合わせのうち, 赤池の情報量基準 AIC が最も小さい値を示したものを DG に対する説明能力が高いベスト・モデルとして選択した (Crawley 2005 ; McCarthy 2007). 使用した統計ソフトは R ver. 2.15.3 で, library は glm を使用した (R Core Team 2013).

除伐による個体間のサイズ格差の解消と, 除伐後のサイズ格差の推移については, dbh をサイズの指標としてジニ係数によって評価した. ジニ係数は所得配分の不平等さを計る指標として考案されたものであるが, 植物の個体間競争の度合いの評価にも応用されている (Weiner and Solbrig 1984). ジニ係数は 0~1 の範囲の値をとり, 値が大きいほど格差が大きい状態を示す.

表 1 GLM による肥大成長一期首 dbh 関係における除伐処理の効果についての AIC 値.

処理の組み合わせ [†]	AIC				
	I 期	II 期	III 期	IV 期	
傾き+切片 [‡]	C, W, S	297.4	225.7	271.5	208.4
	C+W, S	293.4	229.3	267.9	205.4
	C+S, W	336.3	228.8	276.5	205.3
	C, W+S	332.1	246.6	281.3	205.2
傾きのみ [¶]	C, W, S	293.6	224.3	268.7	205.4
	C+W, S	291.6	227.8	267.1	203.8
	C+S, W	334.3	228.5	274.5	203.4
	C, W+S	330.6	245.9	281.3	204.0
切片のみ [§]	C, W, S	296.8	222.3	267.6	205.4
	C+W, S	294.8	227.3	266.1	203.7
	C+S, W	334.9	226.9	274.7	203.5
	C, W+S	332.2	245.8	279.3	204.1
処理効果なし [#]		340.5	244.0	278.5	202.1

太字+下線の数値が期間中の最小 AIC を表す. † : C, W, S はそれぞれ無処理区, 30%除伐区, 60%除伐区を表す. ‡ : 「処理区」を切片 $f_1(x)$ ・傾き $f_2(x)$ の両方に含む. ¶ : 「処理区」を切片 $f_1(x)$ から除外. § : 「処理区」を傾き $f_2(x)$ から除外. # : 「処理区」を切片 $f_1(x)$ ・傾き $f_2(x)$ の両方から除外.

2.4 林冠ギャップの閉鎖

除伐によって発生した林冠ギャップの閉鎖状況を処理区間で比較するために、間伐直前と直後、2007年、そして2013年に林内で全天写真を撮影した。このとき、各処理区の中央付近に10mラインを2本設定し（ライン間隔は6m）、各ラインにおいて両端を含む2.5m間隔の5地点で全天写真を撮影した（合計10地点、撮影高は1.3m）。全天写真から、LIA32（LIA for Win32; Yamamoto 2005）を用いて林冠閉鎖度を解析した。求められた10地点の林冠閉鎖度から平均林冠閉鎖度を計算した。

3 結果と考察

3.1 肥大成長への除伐効果

釧路市音別町のカシワ海岸林における、肥大成長DG \square 期首 dbh 関係に対する除伐処理の効果を検討した結果を表1に示す。各期間でAICの最小値を示した組み合わせは異なり、I期では傾きにおいて無処

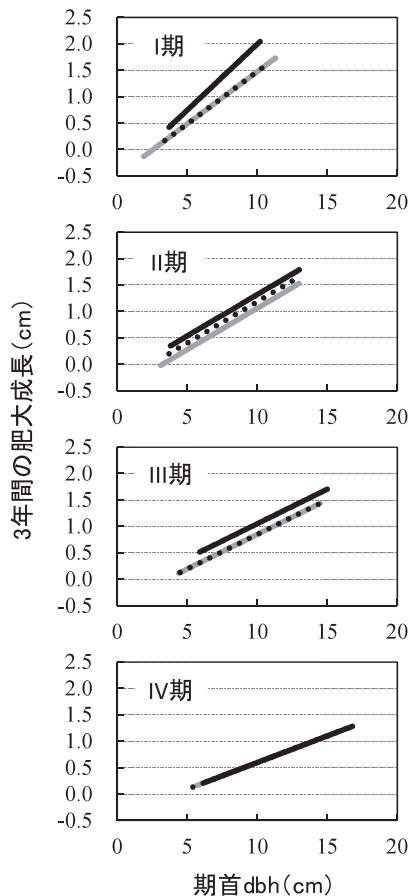


図4 一般化線形モデルによって予測された各処理の肥大成長一期首 dbh 関係。次期に生存し続ける個体の予測線を示す（図3参照）。実線：60%除伐区、点線：30%除伐区、灰色線：無処理区。各処理区における線分の範囲は各処理区に出現した最小 dbh～最大 dbh の区間。

理区と30%除伐区を一つのグループとした組み合わせがベスト・モデルとして選択された。続くII期とIII期では切片に対して処理の効果が認められた。このとき、II期については各処理が独立した組み合わせが、またIII期については無処理区と30%除伐区を一つのグループとして扱った組み合わせがベスト・モデルとして選択された。そして調査期間最後のIV期では除伐処理の効果は認められなかった。図4にベスト・モデルによる予測線を示す。現行の除伐率と大きく変わらない30%除伐区では、除伐直後のI期には無処理区との差が認められず、II期になってから差が認められるようになった。そしてIII期には無処理区と同程度になった。なぜII期のみは無処理区との違いが現れたのかは不明であるが、30%除伐で効果が表れたというよりもむしろ、無処理区における競争密度効果が厳しくなったことで、30%除伐区との差が現れた可能性が考えられる。一方、60%の除伐では、I期に肥大成長が大きく促進され、とくに大きなサイズの個体ほど他の処理区よりも顕著に成長が良い傾向が認められた。II期、III期にも他の処理区よりも有意に肥大成長が良い傾向が続き、そしてIV期になって他の処理区との差がなくなった。

3.2 ジニ係数からみた個体間格差への除伐効果

処理間でジニ係数の推移を比較すると（図5）、除伐直後は30%除伐区と60%除伐区の両方でジニ係数の値が低下した。これは下層木がなくなったことに起因する。無処理区のジニ係数は時間とともに低下する傾向があったが、これは自己間引きによって被圧木の枯死が進んでいるために、見かけ上、サイズ格差が軽減されたように見えるだけである。30%除伐区、および60%除伐区のジニ係数は微増傾向にはあるが、ほぼ水平に推移した。そして30%除伐区のジニ係数は、除伐後9年目の2010年に無処理区のジニ係数と同程度になった。つまり、30%除伐区では除伐後9年目に、サイズ格差が無処理区と同程度になったということである。一方、60%除伐区では、

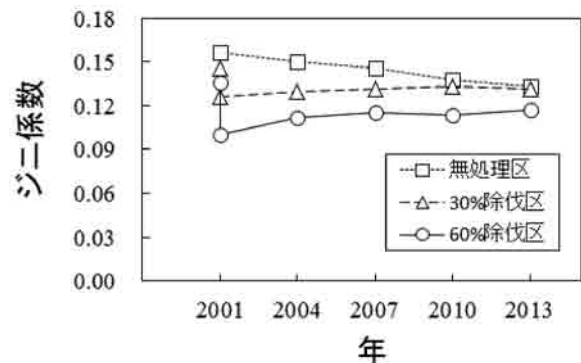


図5 12年間のジニ係数の推移。

調査期間中は無処理区よりも低い値のまま推移した。無処理区および 60%除伐区における 12 年間のジニ係数の変化量 (それぞれ -0.0234 および 0.0169) が今後も同様であると仮定すると、両区のジニ係数が同程度になるには、比例計算から 4.8 年かかると推定される。つまり、60%除伐区におけるサイズ上の個体間格差は、除伐後 15 年以上、無間伐区より小さいということである。60%除伐区においてジニ係数の減少がみられなかったということは、期間中の枯死がほとんどないため (図 2)、残存木のあいだで大きな優劣の差が生じなかったということを示唆している。すなわち、60%除伐区では、残存木のなかで小径階の個体にも除伐効果があったことを示唆している。事実、60%除伐区における小径階の個体の DG は、I 期~III 期を通して他の処理区よりも大きい傾向が認められた (図 4)。

3.3 強度除伐で林冠は閉鎖するか？

林冠閉鎖の推移をみると (図 6)、除伐 6 年後には 30%除伐区も 60%除伐区も無処理区と同程度まで閉鎖した。60%除伐区では林冠が閉鎖してもなお、III 期目まで肥大成長への除伐効果が認められたことは (図 4)、林冠が閉鎖しても林分葉量の増大の余地がまだあったと推察される。

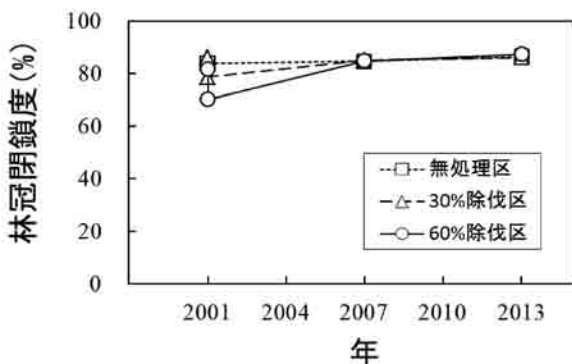


図 6 12 年間の林冠閉鎖度の推移。

3.4 強度除伐の有効性

総じて、本数伐採率にして 30%の除伐強度では、サイズ格差は軽減されたものの、肥大成長に対して効果が認められた期間は 60%除伐区に比べてきわめて短く (30%除伐区は II 期のみ vs. 60%除伐区は I 期~III 期)、しかも肥大成長への効果も小さいことから効果的な除伐強度だったとは考えられない。今回の 30%除伐処理よりもさらに下層間伐に近い現行の本数調整伐では、近い将来枯死する木を伐っているだけであるため (菊沢 1978, 1981)、何もしていないのと同じと変わらないだろう。実際、調査期間中の枯死は小径階に集中しており (図 2)、樹高階

出現別頻度分布 (図 7) をみると枯死木のほとんどが生残木の頻度分布のピークより下層に位置していた。カシワは強光利用型の先駆樹種であることから、枯死の主要因は被圧と考えられる。蜂屋ら (1973) の試験のように、弱度であっても 2 年間隔というように短期間で数回除伐を実施できるのであれば、強度除伐と同程度の効果を期待できるだろうが、予算面から現実的ではないため、強度の除伐は必須であろう。

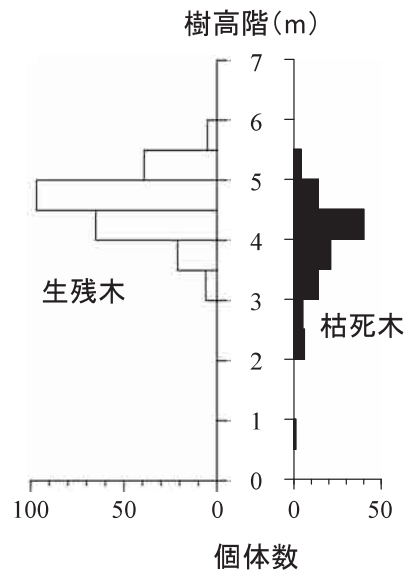


図 7 除伐後 2013 年までの生残木 (左) と枯死木 (右) の樹高階別出現頻度分布。樹高は調査地設定時 (2001 年)。3 処理区のデータをプールし、除伐木は除いた。

50%でも 70%でもなく、60%という除伐率が適正かどうかは、本試験では他の除伐率を実施していないため強く主張することはできないが、北海道江差町において 40~50 年生のクロマツ海岸林に実施した間伐試験では、本数伐採率にして 40%でも肥大成長や形状比に対する間伐効果がほとんどなく、60%になってようやく認められた (Masaka et al. 2013)。天売島に造成されたエゾイタヤやグイマツの若齢林でも本試験と同様な結果が得られつつある (真坂ら、未発表データ；試験地設定後 6 年間の結果については真坂ら [2009] を参照)。本試験で得られた結果は、海岸林に対して効果的な除伐を行うのであれば、保安林指定施業要件で定められた間伐率上限を適用することは適切ではないことを強く示唆している。もともと保安林指定施業要件は、海岸林のような高密度植栽林分を想定した指針ではない (ただし、坂本ら [2010] は、クロマツに対して本数調整伐が有効と報告しているが、優勢木を対象にした場合である)。もちろん、本来は伐採率の値そのものが指標になる

はずはなく、林分の成長に合わせて適正な密度に誘導することが密度管理というものである。今後は除伐効果を加味した密度管理図、あるいは収量密度図を作成することにより、適正な密度管理の体系を構築してゆく必要がある。

なお、坂本ら (2007) が指摘した、伐採による飛砂防備機能や防風機能の低下への危惧については、林分側面からみた際の密閉度が変わらないならば減風効果は変わらないため (鳥田 1996)、風向に沿った列状間伐でもない限り問題になるとは考え難い。また、残存木への風当たりが強くなることで林帯が衰退するのではないかという不安についても、今回、強度に除伐したことによって残存木が何らかの気象害 (強風による幹折れ、冠雪害、潮風害など) を受けた形跡は認められていない。他の試験地でも同様である (e.g. 福地 2000; 真坂ら 2001, 2009; Masaka et al. 2013)。鈴木 (1987) も、山形県酒田市で約 30 年生の林分を 50% 間伐したものの、それによって疎林になることはなかったと記している。ただし、梢端が著しい潮風害を受けて枯損しているような前縁部は、除伐の対象から外した方がよい。また、本来ならば本数調整伐の対象となるようなサイズでありながら手入れ不足から超過密化した林分の取り扱いについては、今後の課題である。

謝辞

本研究を行うに当たり、北海道水産林務部治山課、釧路総合振興局林務課、釧路市 (調査地設定時は音別町) には多大な便宜を図って頂いた。神奈川県藤沢土木事務所なぎさ港湾課には調査報告書を提供して頂いた。調査では、北海道立総合研究機構林業試験場の来田和子、田中香夜、福地稔、本田澄雄の各位に御協力を頂いた (五十音順)。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- [1] 浅野敏之・三谷敏博・三嶋俊樹 (2007) 海岸林の幹直径の分布特性と津波による樹木倒伏率. 海岸工学論文集, 54, pp.1376-1380
- [2] Crawley MJ (2005) Statistics: An introduction using R. John Wiley & Sons Ltd.
- [3] 福地 稔 (2000) クロマツ海岸林の早期間伐が成長に与える影響. 日林北支論, 48, pp.139-141
- [4] 蜂屋欣二・竹内郁雄・只木良也 (1973) 海岸クロマ

ツ林の間伐試験. 昭和 46 年度湘南海岸砂防林調査報告書. 神奈川県土木部砂防課湘南海岸整備事務所, 1-7

- [5] 金子智紀 (2000) 秋田・天王海岸におけるクロマツ林の生育区分. 東北森林誌, 5, pp.91-96
- [6] 菊沢喜八郎 (1978) 北海道における天然生広葉樹林の収量 - 密度図. 日林誌, 60, pp.56-63
- [7] 菊沢喜八郎 (1981) 収量 - 密度図 - IV - ミズナラ林の収量 - 密度図 - . 北方林業, 33, pp.215-219
- [8] 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, pp.265-268
- [9] 真坂一彦・佐藤 創・鳥田宏行・今 博計・明石信廣 (2009) 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. 北海道林試研報, 46, pp.85-116
- [10] Masaka K, Sato H, Torita H, Kon H, Fukuchi M (2013) Thinning effect on height and radial growth of *Pinus thunbergii* Parlat. trees with special reference to trunk slenderness in a matured coastal forest in Hokkaido, Japan. Journal of Forest Research, 18, pp. 475-481
- [11] McCarthy MA (2007) Bayesian Methods for Ecology. Cambridge University Press.
- [12] 中沢迪夫 (1986) 海岸クロマツ林の生育概況と除伐方法. 新潟県林試研報, 28, pp.91-102
- [13] R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Online <http://www.R-project.org>.
- [14] 坂本知己・萩野裕章・野口宏典・島田和則 (2007) クロマツ海岸林における本数調整手法の提案. 海岸林学会誌, 6, pp.1-6
- [15] 坂本知己・萩野裕章・野口宏典・島田和則・後藤義明 (2010) クロマツ海岸林の本数調整は自然間引きに任せてよいか? 海岸林学会誌, 9, pp.79-84
- [16] 森林総合研究所 (2011) クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方 - 本数調整と侵入広葉樹の活用 - . 森林総合研究所 第 2 期中期計画成果 24, pp.7-14
- [17] 鈴木重孝 (1987) 能代市砂防林の歴史. 自費出版.
- [18] 鳥田宏行 (1996) 防風効果を考慮した防風林の間伐について - 風洞実験による結果より - 光珠内季報, 103, pp.22-24
- [19] Weiner J, Solbrig OT (1984) The meaning and measurement of size hierarchies in plant populations. Oecologia, 61, pp. 334-336
- [20] Yamamoto K (2005) *LIA for Win32 (LIA32)*. オンライン (<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/>)

[受付 平成 27 年 8 月 27 日, 受理 平成 27 年 12 月 8 日]