

北海道におけるグイマツ海岸林の密度管理方法

真坂一彦^{1*}・佐藤 創²・福地 稔³・鳥田宏行²・阿部友幸²・岩崎健太⁴・佐藤弘和²

Density control of coastal *Larix dahurica* var. *japonica* stands in Hokkaido, northern Japan.

Kazuhiko Masaka^{1*}, Hajime Sato², Minoru Fukuchi³, Hiroyuki Torita², Tomoyuki Abe², Kenta Iwasaki⁴, and Hirokazu Sato²

Abstract: Density control diagram for the coastal *Larix dahurica* var. *japonica* (Dahurian larch) stands in Hokkaido was developed in this study. Intercept of the full density curve of Dahurian larch stands (23921.95) was larger than that of *Pinus thunbergii* stands (20399.15). If the data of the thinning experiment in Teuri was plotted on the density control diagram, relative yield (Ry) of intensively thinned plot changed from ca. 0.6 (moderate density) to 0.4 (low density), and it reached ca. 0.7 about 12 years after thinning procedure. However, Ry's of weakly thinned- and control plots reached ca. 0.9 (crowded condition) within 12 years after thinning procedure. Distribution of the site index (SI; stand height at 20 years old) of each study site aggregated in the 4-6 and 6-8 SI classes, and SI of the stands in the Pacific region tended to be larger than that of the stands in the Okhotsk- and the Japan Sea regions. We proposed the management practice system with reference to the thinning experiment in Teuri, that is, the stand is thinned to satisfy Ry = 0.4, if the stand height reaches at 4 m. Second, the stand is thinned to satisfy Ry = 0.6, if the stand height reaches at 8 m. However, development of understorey vegetation could not be expected even in the intensively thinned plot in Teuri. It implies that the stand density should be always maintained in lower density.

1 はじめに

北海道の太平洋沿岸からオホーツク海沿岸には、防霧を目的としたグイマツ *Larix dahurica* var. *japonica* 海岸林が造成されている (cf. 石川, 1992; 吉野, 1971)。一般に、日本において海岸林造成に用いられる樹種はクロマツ *Pinus thunbergii* が多いが、その理由は、海岸林造成の主目的が飛砂防備のためであり (小田, 2003; 立石, 1989)、クロマツが砂丘荒廃地という厳しい環境に耐性が高いためである (相川, 1993; 小田, 2003; 須藤, 2008)。一方、北海道の太平洋沿岸からオホーツク海沿岸でグイマツが使われるのは、この樹種がクロマツと比較して北海道東部・北部のような寒冷地に適していると考えられているためである (cf. 倉澤, 1982)。そして造成目的が飛砂防備ではなく、防霧というのは、そもそもこの地

域に砂丘荒廃地はないうえ、この地域では夏季にヤマセと呼ばれる海霧がしばしば発生して内陸に侵入し、日照不足と低温によって農業に大きな影響を及ぼしてきたためである (卜藏, 2001; 堀口, 1983; 安田, 1967)。

一般に、人工林の造成にあたっては、目標とする最終林型の密度より高密度で植栽するため、林分の成長とともに密度管理が必要になる。クロマツ海岸林の場合は日本各地に造成されてきたため、各地の地方公設試によって密度管理方法が提案されてきた (福地, 1994; 嘉戸・西村, 2004; 真坂ら, 2017; 小田, 1977; 佐藤, 2003)。かたや、グイマツ海岸林の密度管理に関する研究事例はほんのわずかしかない (真坂ら, 2009)。北海道では、グイマツと近縁種のカラマツ *L. kaempferi* が主要林業樹種であるため、カラマツについては密度管理技術が発達してきたが (たとえば道総研林試による「北海道版カラマツ人工林収獲予測ソフト ver3」; <http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fri/syukakuyosoku/syukakuyosoku.html>; 2019 年 1 月 7 日確認)、海岸林のような超高密度植栽 (5000~20000 本/ha) の林分に対してそのまま適用できない。このような状況の中で、近年、とくに北海道の太平洋岸において海岸林整備の機運がにわかに高まってきた (鐘下, 2017)。近い将来、北海道東部沖において巨大地震の発生確率が極めて高いと予測されたためである。そして巨大地震による津波

¹ 岩手大学農学部, Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka, Iwate 020-8550, Japan.

² 北海道立総合研究機構林業試験場(道総研林試), Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization (HRO), Kosyunai, Bibai, Hokkaido 079-0198, Japan.

³ 北海道美幌市西 3 条南, Bibai, Hokkaido 072-0026, Japan.

⁴ 道総研林試道東支場, Doto Branch Station, Forestry Research Institute, HRO, Shintoku, Hokkaido 081-0038, Japan.

*Corresponding author: masaka@iwate-u.ac.jp

被害の軽減策の一つとして、海岸林の整備が急務になった（佐藤, 2018）. 海岸林の整備とは、新しく造成することだけでなく、手入れ不足気味の現存の海岸林を健全な林相に誘導することも含まれる. つまり、グイマツ海岸林の密度管理は、近い将来に予想される津波被害の軽減のためにも喫緊の課題といえる. そこで本研究では、北海道東部・北部の沿岸域に造成されてきたグイマツ海岸林を対象に林分密度管理図と地位指数曲線を作成し、グイマツ海岸林の間伐試験地における林分動態を参考にグイマツに適した施業体系図を提案する. これまでの筆者らの研究で、高密度植栽された海岸林に対して保安林の指定施業要件に従った間伐率（平成 14 年以前は材積率で上限 20%, 平成 14 年以降は上限 35%）では、間伐効果がほとんど認められないことを明らかにし、一方で 50%~60%の強度間伐の意義を示してきた（真坂ら, 2009, 2015; Masaka et al., 2013）. これにしたがい、本研究の施業体系図作成では強度間伐を前提として検討する.

2 調査地と調査方法

2.1 調査地

グイマツ海岸林の調査は、広尾町野塚・下野塚・暁、大樹町浜大樹・旭浜・生花、豊頃町大津・長節西、浦幌町直別・ヌタベツト・ウツナイ、釧路市音別、浜中町鯨浜、興部町興部、稚内市抜海・沼川、天塩町更岸、遠別町本町・金浦、苫前町上平・三豊、羽幌町天売、厚真町浜厚真で行った（2001 年~2017 年; 図 1）. 調査項目は林齢、林分密度、林分材積、上層高、植栽密度、汀線からの距離の 6 点である. 植栽密度は列間距離と苗間距離から、林分材積は樹高と胸高直径から推定した. これらの林分のうち、

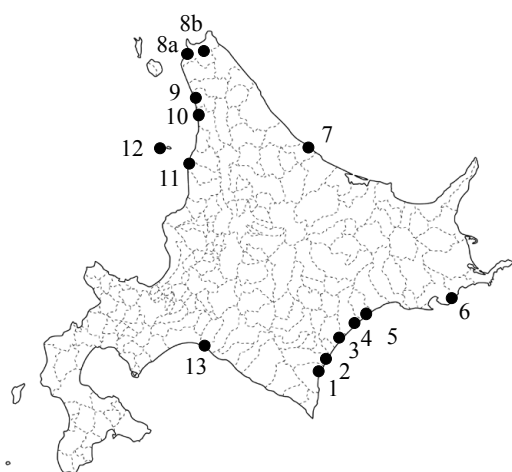


図 1 調査地の位置.

1, 広尾町; 2, 大樹町; 3, 豊頃町; 4, 浦幌町; 5, 釧路市音別; 6, 浜中町; 7, 興部町; 8a, 稚内市抜海; 8b, 稚内市沼川; 9, 天塩町; 10, 遠別町; 11, 苫前町; 12, 羽幌町天売; 13, 厚真町.

大樹町浜大樹と羽幌町天売、浜中町には間伐試験地が設定され、複数回の調査が行われている.

2.2 林分データの概況

今回は調査地設定時における間伐直前のデータに加え、無間伐区の再測データも解析の対象に加えた. また、稚内市沼川の林分は内陸に造成されたものであるが、北海道でもっとも古いグイマツ林造成地（倉澤, 1982）であるため解析の対象に加えた. 今回、これらの調査地点より得られた 84 データを用いて、林分密度管理図、および地位指数曲線を作成した. 使用したデータの範囲（最小値~最大値）は、林齢が 11~84 年生、林分密度 N が 944~10250 本/ha、林分材積 V が 21.4~663.5 m³/ha、上層高 H が 2.4~17.3 m、植栽密度が 3086~20000 本/ha である. このとき、上層高とはヘクタール当たり樹高上位 250 位までの平均樹高である. 図 2 に、各林分の林分密度に対して林分材積をプロットした状況を示す. 除間伐が 1 度行われた林分が数カ所あったが、除間伐対象木は下層木に大きく偏るうえ、材積伐採率が 25%以下で、しかも除間伐後であっても樹冠疎密度が 90 数%であるため、保残木の成長に対する除間伐の影響は無視できるものと仮定した（真坂ら, 2017; cf. 菊沢, 1978, 1981; 真坂, 2017）.

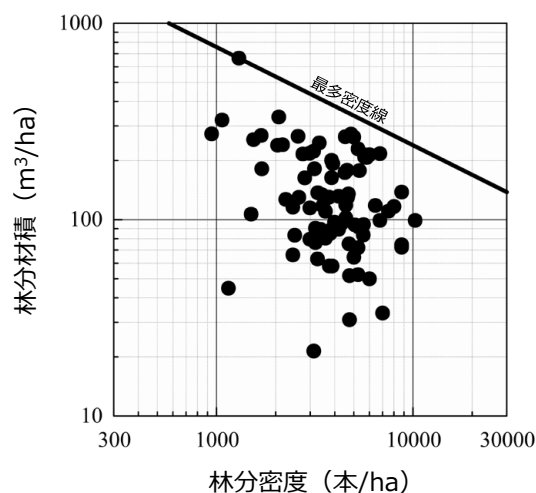


図 2 データの分布状況.

2.3 林分密度管理図の作成方法

両対数グラフにおいて等平均樹高線、自然枯死線、最多密度線、等収量比数線からなる林分密度管理図の作成方法は、今後、樹種間で比較する可能性もあることから、クロマツ海岸林を対象とした真坂ら（2017）に従った. すなわち、等平均樹高線と自然枯死線は、それぞれ (1) 式と (2) 式で与えられる.

$$(1) \quad \frac{1}{V} = aH^{-b} + cH^{-3b} \frac{1}{N}$$

ここで V は林分材積 (m^3/ha), N は林分密度 (本/ha), H は上層高 (m), そして a, b, c は係数である.

$$(2) \quad V = gN^{-h} \left(1 - \left[\frac{N}{N_0} \right]^{1+h} \right)$$

ここで, N_0 は植栽密度, g と h は係数である. このとき g は対数グラフ上における最多密度線 $V = gN^h$ の切片, h は傾きになり, h は理論値である -0.5 を仮定した (佐藤, 2003). なお, 真坂ら (2017) では,

(2) 式中の h を理論値ではなく, データから推定した (d と記述). h について理論値 -0.5 を使用すると, 自然枯死線は最多密度線が接線になるが, データから推定した場合は最多密度線が漸近線になるという違いがある. 切片 g は, もっとも値が大きくなる林分データの V と N を代入して求めたところ, 稚内市沼川のデータによる $g = 23921.95$ が得られた (図2). この値はクロマツの場合の 20399.15 (真坂ら, 2017) よりも大きい. 収量比数 R_y は, 最多密度を $R_y = 1.0$ としたとき, 同じ等平均樹高線上における V の比である.

(1) 式と (2) 式中の各係数は, Microsoft Excel 2010 のソルバーを用いて最小二乗法によって推定した (真坂ら, 2017). 推定方法は, (1) 式, および (2) 式の各定数に任意の値, および各調査林分における実際の N と H を代入して V の予測値を得る. この予測値と実際の V の偏差平方 SS を求め, 全調査林分の SS 合計値が最小になるように各係数を決定した.

得られた林分密度管理図上に, 羽幌町天売で実施している間伐試験のデータを重ね, 間伐強度の違いによる林分の推移の評価を試みる. 当試験地では, 本数伐採率で 50% を伐採した強度間伐区, 同 25% の弱度間伐区, そして比較のための無間伐区を設定している. 調査地設定時, および間伐後 6 年間の推移については, 真坂ら (2009) を参照されたい.

2.4 地位指数曲線の作成方法

地位指数曲線は, 樹幹解析によって推定した. 樹幹解析用の供試木は, 浦幌町, 大樹町, 興部町, 枝幸町, 遠別町, 苫前町, 稚内市抜海の調査地付近から上層木を計 22 個体採取し, 1 年ごとの樹高成長量を測定した. なお, 枝幸の調査地は, 調査直前に本数調整伐が行なわれていたため, 林分密度管理図用のデータには含めていない. 林齢と上層高 H の関係には, 次の成長曲線を当てはめてガイド・カーブとした (福地 1994 ; 真坂ら, 2017).

$$(3) \quad H = M(1 - e^{-kt})^{m'}$$

ここで, t は林齢 (年), M, k, m' は係数であり, このうち m' については, 真坂ら (2017) では $1/(1+m)$ と表している. (3) 式における各係数の推定方法は

2.2 節と同様である. 一般に, 地位指数 SI の基準林齢は 40 年に設定されているが, 今回対象としたグイマツ海岸林は 40 年生未満の林分が多かったため, 基準林齢を 20 年とした地位指数曲線を作成した. 各調査地の SI の推定に当たっては, 稚内市抜海において林齢が不明な調査地が 1 カ所あったため, これを除いた 83 データを対象にした.

2.5 地位指数の出現状況の地域性の評価

地位指数の出現状況について地域性を評価するため, 各調査林分の SI を目的変数, 「地域 (太平洋側, オホーツク海側, 日本海側)」および「汀線からの距離」を固定効果とした一般化線形モデル GLM による分析を行った. モデルの説明力は AIC (赤池の情報量基準) によって評価した. モデル選択では, 二つの固定効果を含んだ最大モデルから, それぞれの変数を除いた場合のモデルにおける AIC を求め, 最大モデルの AIC と比較して, 小さい方をベスト・モデルとして選択した (Crawley, 2005; McCarthy, 2007). 統計ソフトは R ver. 3.4.4 を使用した (R Core Team 2018). SI の分布は正規分布を仮定した.

3 結果と考察

3.1 林分密度管理図と間伐試験地との対応

(1) 式の各係数の推定値は, $a = 0.052, b = 1.096, c = 3180.358$ となった. 図 3 に, (1) 式および (2) 式によって推定した等平均樹高線および自然枯死線 ($N_0 = 5000, 10000, 20000$), そしてそれらに加え, 最多密度線と等平均樹高線から推定した等収量比数線によって構成される林分密度管理図を示す.

得られた林分密度管理図と間伐試験地の組み合わせ

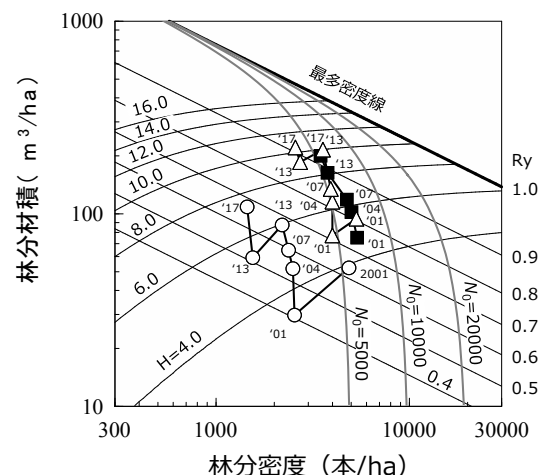


図 3 グイマツ海岸林の林分密度管理図.

羽幌町天売の間伐試験地のデータ: ○, 強度間伐区; △, 弱度間伐区; ■, 無間伐区. 記号の添え字は調査年を表す. 調査地設定時は 14 年生. 2013 年に伐採率 25% を目標に 2 度目の間伐を行った.

程度の対応を評価するため、図3に羽幌町天売の間伐試験地のデータを重ねた。試験地設定時の R_y は試験地間で若干の違いはあるものの、強度間伐区と無間伐区の R_y がそれぞれ 0.65 弱程度と約 0.75 となり、これらは中庸仕立ての混み合い度に相当していることが分かる。また弱度間伐区は $R_y = 0.8$ となり、間伐が必要な混み合い度に達していることが明らかになった。強度間伐区は間伐によって R_y が 0.2 以上低下して 0.4 程度になり、その後 12 年間で $R_y = 0.7$ 程度に増加したと推定できる。一方、弱度間伐区については、間伐によって R_y が 0.1 程度低下しただけで、間伐後 3 年目には当初の R_y まで回復したことが推定できる。つまりこの結果は、現行程度の間伐強度では間伐効果の持続期間が 3 年程度しか持続しなかったことを意味している。そして弱度間伐区および無間伐区では、試験地設定後 12 年間で $R_y = 0.9$ 前後に達したことが推定できる。北海道では最初の間伐(除伐)後、次回の間伐(本数調整伐)まで 10 年以上の期間が空くことが多い。今回の結果は、グイマツ海岸林に従来の考えで密度管理を適用した場合、過密林化が避けられないことを強く示唆している。

間伐試験地では、間伐直前、林冠が鬱閉していたために林床に陽光がほとんど届かず、林床植生が未発達の状態だった。強度間伐により、 $R_y = 0.4$ という密度が疎な状態になり、さらに試験地設定から 12 年後に 2 度目の間伐を行い (2013 年)、 $R_y = 0.5$ まで低下させたものの下層植生の回復はほとんどみられなかった (写真 1)。一般に、保安林の本数調整伐は下層植生の回復状況も勘案して実施されるが、この間伐試験地での様子を見る限り、従来の間伐強度ではなおさら下層植生の回復が見込めないことが示唆される。グイマツは枝葉密度が高く、枝が枯れ上がっても樹幹に着いたままである。そのため、除伐が一度も行われていない林内の光環境は植物の生育にとって劣悪で、筆者らが測定した事例では相対光量子密度が 2%未満の林分がほとんどだった (調査林分数 $n = 12$; 真坂ら, 未発表データ; cf. 真坂, 2017)。林床に植生がない場合、津波は林床を洗掘し、それにより立木の根系が支持基盤を失ってしまう可能性がある。グイマツ海岸林において林床植生の発達を促すためには、疎仕立てを維持するような密度管理が必要になるかもしれない。

3.2 地位指数曲線の形状

(2) 式の各係数の推定値は、 $M = 526.428$, $k = 0.000119$, $m' = 0.742$ となった。図 4 に、グイマツ海岸林について推定された地位指数曲線を示す。(2) 式から推定された各調査林分の地位指数 SI は、最大が 14.6 で、 $SI = 4 \sim 6$ 階にピークをもつ一山型の分布を示した (図 5)。 $SI = 6 \sim 8$ 階にも多数の林分が含まれ、これらの範囲において全データの約 68.7%を占



写真 1 強度間伐区内の林床の様子 (羽幌町天売, 26 年生時, 2017 年 7 月 30 日撮影)。樹幹のナンバータブは胸高位置 (1.3m)。

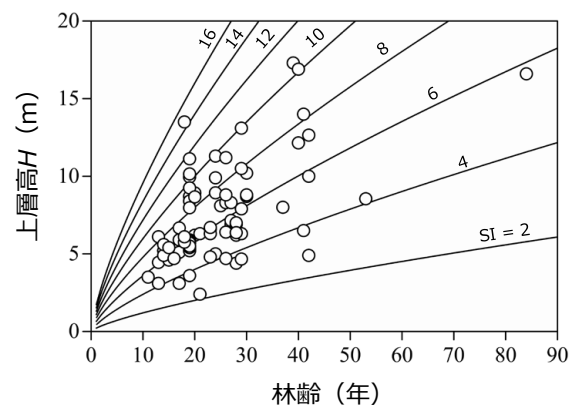


図 4 グイマツ海岸林の地位指数曲線。

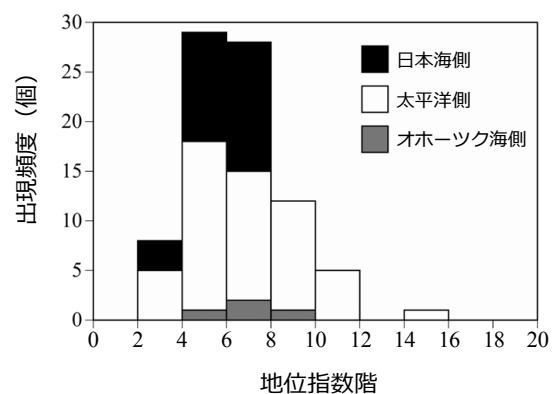


図 5 地位指数の出現状況。

めた。グイマツ海岸林を、太平洋側、オホーツク海側、日本海側と 3 区分して SI の出現状況を比較すると、太平洋側に地位指数が高い林分が出現する傾向が認められた。 SI の最大値を示した林分は汀線から

約 1km 内陸に位置する。

SI の地域性を評価した GLM 分析の結果、ベスト・モデルには「地域」および「汀線からの距離」の二つの固定効果が含まれるモデルが選択された(表 1, 2)。このとき、「地域」を除いたモデルの AIC の変化量 ($\Delta AIC = 142.9$) は、「汀線からの距離」を除いたモデルの AIC の変化量 ($\Delta AIC = 11.7$) より極めて大きいことから(表 1)、グイマツ海岸林の SI は地域によって大きく変わることが示唆された。そして「地域」の係数推定は、「太平洋側 (6.933)」 > 「オホーツク海側 (5.683)」 > 「日本海側 (5.275)」の順で大きく、これはつまり、汀線からの距離が同じである場合、太平洋側のグイマツ林の上層高はオホーツク海側より平均で 1.25m 高く、日本海側より平均で 1.68m 高いということである。この結果は、太平洋側のグイマツ海岸林では、他の二地域よりも林齢が若いうちに密度管理を始める必要がある場合が多いことを示唆している。

3.3 除間伐経過モデル—考え方の一例—

林分密度管理図に、一つの考え方としての間伐経過の軌跡を記したのが図 6 である。図 6 には、2 回の除間伐を実施した場合の林分の $N-V$ 関係の推移が描かれており、以下に、それぞれの除間伐を行う基準としての上層高と、伐採強度について説明する。交点座標の推定における数値解析では Maxima を使用した。

林分密度管理図では、10000 本/ha 植栽の場合の自然枯死線と上層高 4m の等平均樹高線の交点が、 $Ry = 0.8$ をわずかに下回っている位置にある(図 6)。そのため、ここでは上層高 4m を初回間伐の目安と考える。上層高を目安とすることは、現地において目

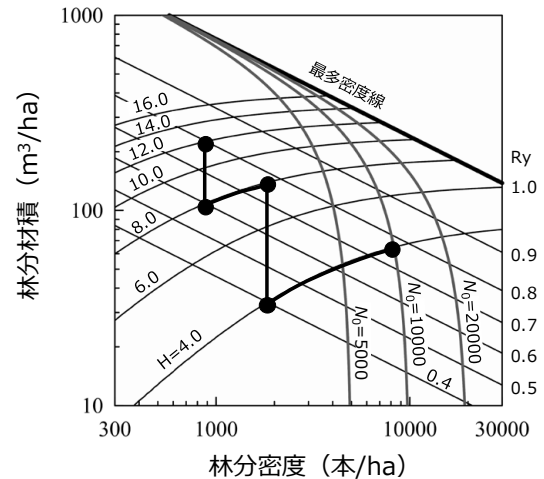


図 6 グイマツ海岸林の施業経路案。

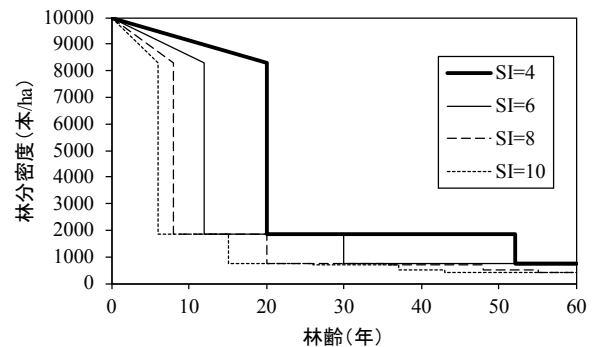


図 7 地位指数別 (SI=4~10) の施業体系図
植栽密度は 10000 本/ha を想定。

表 1 GLM によるモデル選択.

モデル	固定効果		AIC	ΔAIC
	地域	汀線からの距離		
最大モデル	○	○	290.2	0
モデル 2	○	—	301.9	11.7
モデル 3	—	○	433.1	142.9
Null モデル	—	—	472.9	182.7

備考：○はモデルに含む，—はモデルから除外。 ΔAIC は最小 AIC との差。

表 2 ベスト・モデルにおける係数推定値.

固定効果	Coeff.	SE	t
地域			
太平洋側	6.933	0.379	18.307
オホーツク海側	5.683	0.756	7.514
日本海側	5.275	0.365	14.471
汀線からの距離	0.001	0.0003	3.777

備考：Coeff. 係数推定値；SE 標準誤差。残差逸脱度は 224.54 残差自由度は 66。

視で確認できる利点もあげられる。そして天売の事例(図 3)を参考にして $Ry = 0.4$ まで密度を下げる」とすると仮定する。そして、初回間伐によって密度は 1836 本/ha という計算になる。植栽密度が 10000 本/ha の場合、本数伐採率は 77.8%，5000 本/ha の場合は 59.1%に相当する。

2 回目の間伐については、参照可能な先行研究がないため、 Ry を基準に上層高を指標として検討する。すなわち、上層高が 8m をわずかに超えた際に $Ry = 0.8$ (密仕立て)に達するため、上層高が 8m に達した時点で 2 回目の間伐時とする。間伐強度を初回と同様に $Ry = 0.4$ とすると密度が著しく低下するため、間伐強度を $Ry = 0.6$ (疎仕立て)と設定すると、密度は 746 本/ha、本数伐採率は 59.3%になる。この本数伐採率は、植栽密度によって変わらない。

3 回目の間伐については、2 回目と同様に $Ry = 0.8$ (密仕立て)を基準に考えると、上層高がほぼ 12m に到達した時点にほぼ一致する。そのため、上層高 12m に達した時点で 3 回目の間伐となる。上層高 12m

に到達するような林分は、林業が可能な立地といえる。そのため、上層高 12m 以上の林分については、以下に示すようにカラマツ林業を参照にする。

図 6 に示す施業経路を実施するため、地位指数曲線から間伐時期を推定して作成したのが、図 7 に示す施業体系図である(植栽密度は 10000 本/ha を想定)。SI = 4 の林分では、初回の間伐を 20 年生時(4 齢級)に実施すると 2 回目間伐は 52 年生時にあたる(太実線)。SI = 6 の林分では、初回間伐を 12 年生時(3 齢級)に、2 回目間伐を 33 年生時、3 回目間伐を 57 年生時に実施することになる(細実線)。SI = 8 以上は、カラマツ林では III 等地²⁾に相当する。そのため、カラマツ林施業と同様な密度管理を適用できるだろう。ただし、植栽密度が大きく異なるため、初回と 2 回目は SI = 8 未満の林分と同様で、3 回目の間伐から適用ということになる。SI = 8 (破線) および 10 (点線) の林分は 2 齢級のうちに初回間伐を実施する必要があり、SI = 10 の林分は 60 年生時まで計 5 回の間伐を要するという設定になる。ここで示した施業過程は、間伐ごとに達成される林分密度が同じであるため、植栽密度による変更はない。

4 おわりに

海岸林は超高密度植栽されており、とくにグイマツ林の場合は速やかに過密化して林床植生が生育できない環境になるうえ、天売の間伐試験地では強度間伐区でも林床植生の回復は望めなかった(写真 1 参照)。しかも、人員・予算不足のためにもともと適切な管理が難しいという情勢を考えるならば、若齢時に思い切った強度の間伐を実施する方が、保残木の成長を促すだけでなく、後々のコスト低減にもつながると考えられる(真坂, 2017)。10000 本/ha、あるいは 20000 本/ha という超高密度植栽された林分に対し、林業が可能なほど地位指数が高く、かつ海岸林よりはるかに低密度植栽の林分と同様な密度管理方法を適用しても意味がない(真坂, 2017; 真坂ら, 2009, 2015; Masaka et al., 2013)。超高密度林分に見合った現実的な密度管理が適用されるべきであろう。

なお、今回提案した施業体系図は密度管理と防霧機能の対応は考慮しておらず、今後の検討課題である。ただし、過密林化したまま推移すれば気象害への感受性が高くなるのは当然であり、健全な林分に誘導されることで防霧機能が気象害によって損なわれるリスクを低減すると期待される。また過密林化した高齢の林分の取り扱いも、間伐試験に基づいた実証が必要となる。

謝辞

本研究を行うに当たり、北海道水産林務部治山課、留萌振興局林務課、釧路総合振興局森林室、十勝総合振興局林務課、胆振支庁林務課に多大な便宜を図

って頂いた。調査では、上記振興局のほか、道総研林試の研究職員および大樹町森林組合にご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

注: 40 年生時を基準林齢としたとき SI が 13~18 の林地。北海道水産林務部林務局林業木材課(2011)「カラマツ人工林長伐期施業導入の手引き」参照。

引用文献

- [1] 相神達夫(1993) 森から来た魚。道新選書 26。
- [2] ト蔵建治(2001) ヤマセと冷害。成山堂書店。
- [3] Crawley MJ (2005) Statistics: An introduction using R. John Wiley & Sons Ltd.
- [4] 福地 稔(1994) クロマツ海岸林の密度管理を考える。光珠内季報, 94, pp.11-13。
- [5] 堀口郁夫(1983) やませについて。日本気象学会北海道支部だより, 28, pp.1-12。
- [6] 石川政幸(1992) 防霧林の機能。日本の海岸林(村井 宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也 編), ソフトサイエンス社, pp.301-309。
- [7] 鐘下敬介(2017) 北海道での海岸防災林造成について。北方林業, 68, pp.89-92。
- [8] 嘉戸昭夫・西村正史(2004) クロマツ海岸林の密度管理図。富林技研報, 17, pp.1-9。
- [9] 倉澤 博 編(1982) 保安林物語。第一プランニングセンター。
- [10] 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。
- [11] 真坂一彦(2017) 北海道における海岸林の密度管理についての諸問題。北方林業, 68, pp.97-101。
- [12] 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. J For Res, 18, pp. 475-481。
- [13] 真坂一彦・佐藤 創・鳥田宏行・阿部友幸・岩崎健太・今 博計・明石信廣(2015) 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—。海岸林学会誌, 14(2), pp.35-40。
- [14] 真坂一彦・福地 稔・佐藤 創・鳥田宏行・阿部友幸・岩崎健太(2017) 除間伐試験に基づいた北海道におけるクロマツ海岸林の密度管理方法。海岸林学会誌, 16, pp.1-6。
- [15] McCarthy MA (2007) Bayesian Methods for Ecology. Cambridge University Press。
- [16] 小田隆則(1977) 海岸クロマツ林の生長と密度について (I), 砂丘研究, 23, pp.14-22。
- [17] 小田隆則(2003) 海岸林をつくった人々。北斗出版。
- [18] 佐藤 創(2003) クロマツ海岸林の密度管理方法。光珠内季報, 129, pp.11-14。
- [19] 佐藤 創(2018) 今後の津波に備えた海岸防災林整備。森林科学, 84, pp.27-29。
- [20] 須藤儀門(2008) 砂防林物語。庄内海岸のクロマツ林をたたえる会。
- [21] 立石友男(1989) 海岸砂丘の変貌。大明堂。
- [22] 安田初男(1967) 営農形態よりみた北海道の農業地域区分。福島大学教育学部論集, 19, pp.45-60。
- [23] 吉野正敏(1971) 気象、地形などからみた道内における防風、防霧効果の著しい地域等について。北海道の防風、防霧林(林野庁監修), pp.165-190。

[受付 平成31年1月15日, 受理 令和元年7月16日]