

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

真坂一彦^{1*}・福地 稔¹・佐藤 創¹・鳥田宏行²・阿部友幸¹・岩崎健太¹**Density control of coastal *Pinus thunbergii* Parlat. stands in Hokkaido, northern Japan, based on the thinning experiments.**Kazuhiko Masaka^{1*}, Minoru Fukuchi¹, Hajime Sato¹, Hiroyuki Torita²,
Tomoyuki Abe¹ and Kenta Iwasaki¹

Abstract: Density control diagram for the coastal *Pinus thunbergii* Parlat. stands in Hokkaido with special reference to the result of thinning experiments was developed in this study. Degree of slope of the full density curve (-0.5) in the density control diagram proposed in this study was larger than that of the trajectories of the objective stand density proposed by Forestry and Forest Products Research Institute (2011). The objective stand density will overstep the relative yield (Ry) line of 0.8 with stand growth (> 10 m in stand height), the physical border about the sensitivity to snow damage. The result implies that the objective stand density cannot be applied to the stands in Hokkaido more than 10 m in stand height. If the stand would be thinned ca. 60% to follow our previous studies as minimal effective thinning intensity, the stand would reach at ca. Ry = 0.6. On the other hand, we developed the site index (SI) curve with respect to stand height at 40 yr-old. From both density control diagram and SI curve, we can develop the diagram for management practice system for the coastal *P. thunbergii* stands in Hokkaido. In the management practice system, we also refer to the practice already conducted in Yamagata prefecture for the first thinning practice. Namely, the stand is thinned every third planting line if the stand height reaches at 4 m, and remained two lines are thinned as staggered array.

1 はじめに

一般に、海岸林は高密度で植栽されるため、除間伐遅れによってすぐに過密化が進行してしまう。除間伐が遅れる理由として、坂本ら(2007)は、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、の2点を指摘しているが、もともと密度管理するための施業体系図がなかったという問題もある。そのため、現場担当者は手探りで除間伐を行わざるを得ず、森林法によって定められる保安林の指定施業要件に依拠して除間伐が行なわれてきたところが多い。この指定施業要件では、平成14年以前は材積率で20%を上限とし、平成14年以降は上限35%に改定されている。しかし、現実の現場では2回目の除間伐(本数調整伐)までの時間間隔が10年以上と長く、いずれの伐採率にしろ、高密度のまま林分が成長するた

め、冠雪害を受けやすいような脆弱な樹形となってしまう(cf. 嘉戸・西村 2004; 金子 2000)。

2000年以降、佐藤(2003)は北海道の、嘉戸・西村(2004)は富山県の、小谷(2009)は石川県のクロマツ海岸林を対象にした密度管理図を作成した。佐藤(2003)は、金子(2000)が報告した形状比と冠雪害に対する感受性の関係を考慮に入れ、各林分の収量比数と平均形状比のあいだに見られる正の相関関係から、収量比数を0.7に近づけるように保育伐を行えば冠雪害を受けにくい林分になると提案している。嘉戸・西村(2004)や小谷(2009)も同様に、金子(2000)の報告を根拠として目標とする収量比数を設定している。一方、森林総合研究所(2011)は、小田(1977)の樹高に対応する理想的な相対密度を指標とした密度管理指針を提案した。しかし、これらの報告では、時間軸が欠けており、いつ、どの程度の強度で除間伐を行うべきか示されていない。

一般に施業体系図は、林分密度管理図と、林齢と上層高の関係を説明する地位指数曲線を基に構築される。つまり、地位指数曲線によって、ある上層高に達するときの林齢が分かるため、林分密度管理図上の等平均樹高曲線と収量比数の関係から、除間伐すべき林齢に達しているかどうかを判定する。ただし、現実問題として、林業対象樹種のような除間伐間隔の短い施業体系図は、管理予算が少ない海岸林

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

$$(2) V = gN^{-d} \left(1 - \frac{N}{10000}\right)^{1+d}$$

ここで d と g 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 $V = gN^h$ (h は係数) の切片であり、最多密度線の傾き h は理論値である -0.5 を仮定した (佐藤 2003)。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、 $g = 20399.15$ が得られた (図 2)。収量比数 Ry は、最多密度を $Ry = 1.0$ 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。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。

2.3 地位指数曲線

地位指数曲線は、林齢と上層高 H の関係に対して、次の成長曲線を当てはめてガイド・カーブとした (福地 1994)。

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

ここで、 t は林齢 (年)、 M 、 k 、 m は係数である。(3) 式における各係数の推定方法は 2.2 節と同様である。得られたガイド・カーブを用いて、基準林齢を 40 年とした地位指数曲線を作成した。

3 結果と考察

3.1 北海道のクロマツについての林分密度管理図

(1) 式および (2) 式の各係数の推定値は、(1) 式については、 $a = 0.128$ 、 $b = 1.284$ 、 $c = 18593.23$ となり、(2) 式については、 $d = 0.600$ 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 (植栽密度は 10000 本/ha)、そしてそれらに加えて、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。また、この図に、森林総合研究所 (2011) で示されている、北海道外のクロマツ海岸林について提案された林冠高に応じた目標本数密度を重ねた。なお、ここで引用する目標本数密度に示されている林冠高は上層高 H と同じものとみなし、目標本数密度は H に対する林分密度 N とした。

北海道のクロマツ海岸林について作成された今回の林分密度管理図と、森林総合研究所 (2011) により千葉県にデータに基づいて提案された相対密度を指標とした目標本数密度を比較すると、相対密度の軌跡は収量比数線の傾き (-0.5) よりも傾きが急で、

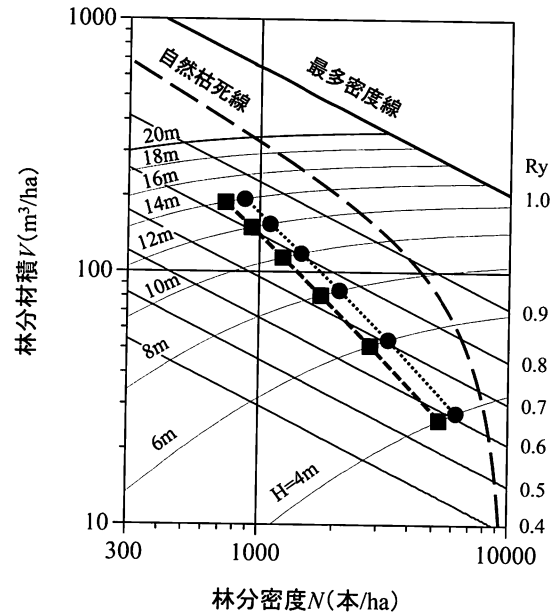


図 3 クロマツ林の林分密度管理図。目標本数密度：●と点線は 65%、■と破線は 55% (森林総合研究所 [2011] より)。

上層高が 4 m のときの目標本数密度は収量比数 Ry にして 0.6 前後だったが、上層高が高くなるにつれて Ry が高い領域に遷移し、冠雪害に対する耐性の閾値と考えられる $Ry = 0.8$ (金子 2000) を、相対密度 65% では上層高が約 10 m で、そして相対密度 55% では約 12 m で超えてしまった。この結果から、千葉県のデータに基づいた目標本数密度を北海道のクロマツ海岸林に当てはめることは、上層高が低いあいだは大きな問題ないものの、上層高が 10 m を超える辺りから難しくなることを示唆している。

3.2 林分密度管理図上における除間伐試験の結果

図 3 の林分密度管理図に、これまで道総研林試が調査してきた除間伐試験の結果 (Masaka et al. 2013, 真坂ら 未発表データ) を重ねたのが図 4 である。レの字を描く記号と線の組み合わせは、除間伐直前・直後、そして除間伐後の成長に関する N - V 関係の軌跡を表し、最も右に位置する点が除間伐直前の N - V 関係で、それが除間伐直後に左斜め下へ移動し、その後、ほぼ直上に向かって点が推移する。ただし無間伐区については、右の点はなく、一番下の点から調査が始まり、上方に向かって点が推移する。

ここで用いる除間伐試験地は、砂坂については設定時が 45 年生で $H = 10.3$ m ~ 10.9 m、以下同様に、恵山中浜が 31 年生で $H = 9.5$ ~ 10.1 m、鹿部が 19 年生で $H = 6.4$ ~ 6.6 m、そして静内春立が 16 年生で $H = 6.5$ ~ 8.5 m である。試験地設定時に最多密度に達していた恵山中浜を除き (点線; 図 4)、これらの除間伐試験の結果では、本数伐採率で 60% の除間伐が、

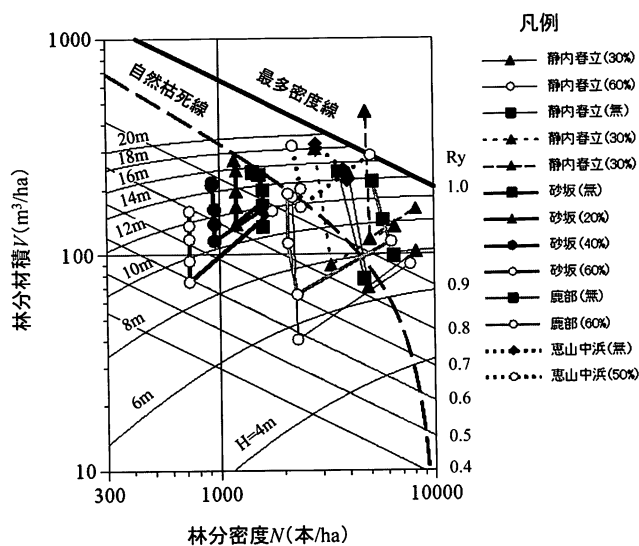


図4 林分密度管理図における除間伐試験のデータの位置付け. 凡例中の括弧内の%は除間伐率を, 無は無間伐を表す.

保残木の肥大成長や形状比に有意に効果があり, 既往の伐採率程度 (20%~40%) ではほとんど効果がなかった (Masaka *et al.* 2013, 真坂ら 未発表データ). 60%除間伐区の $N-V$ 関係の軌跡をみると, 伐採直後, ほぼ $Ry = 0.6$ の付近に移動していることが分かる. つまり, 除間伐の効果を期待するのであれば, 最低でも $Ry = 0.6$ に達するまでの強度の除間伐が必要ということである. これまでも除間伐試験に関する報告があるが, たとえば小谷 (2009) は, 最大で本数にして 44.1%, 材積にして 49.9% の除間伐率で伐採しても, その後の 4 年間の成長に処理間で大きな差が認められなかったと報告している. この論文では, 各林分の林齢のデータが示されていないため不明だが, 調査対象が 10~30 年生で, 伐採直前の林分密度が 9300 本/ha とのことだったため, 10 年生の若い林分であると推察される. 伐採直後が 5200 本/ha と高密度であるから, 除間伐強度は効果が表れるにはまだ弱かったと推察される.

なお, 今回例外とした恵山中浜の 50% 除間伐区では, 伐採後も $Ry = 0.9$ を上回ったままで ($Ry = 0.921$; 図 4), ほぼ自然枯死線上に位置していた. この林分は, 伐採直前の時点において, 本研究で作成した林分密度管理図における最多密度線の「切片」を決定したほど過密化が進んでいた林分だった. 他の試験地における試験地設定時の収量比数は, 砂坂が 0.844, 鹿部が 0.936, 静内春立が 0.916 と, いずれも 0.9 前後であった (図 4). 林齢も考慮しなくてはならないだろうが, 少なくとも鹿部が示した $Ry = 0.936$ が除間伐するうえで上限と考えた方が良いかも知れない. 過密化した林分の取り扱いは全国的な問題であり (金内ら 2001; 坂本ら 2001), 本研究から, このよう

林分に対しては, 強度の除間伐を施しても林相改良にはほとんどつながらないことが示唆される.

3.3 地位指数曲線

図 5 に, 北海道のクロマツ海岸林について推定された地位指数曲線を示す. 林齢が 50 年を超すデータが極めて少ないため, 地位指数曲線はまだ明瞭な頭打ちの曲線を描いていない.

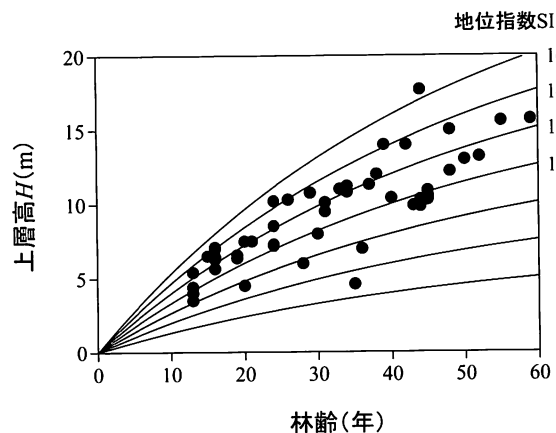


図5 クロマツ海岸林の地位指数曲線.

3.4 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除間伐経過の軌跡を記したのが図 6 である. 図 6 には, 3 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.

筆者らが行なってきた除間伐試験では, もっとも若い静内春立の林分 (試験地設定時 16 年生) で, 上層高が 5.7~7 m に達し, Ry が 0.9 を超えていた (○記号+細実線; 図 4). つまり, 適切な時期に初回の除間伐を行う上では遅かったきらいがある. 今回作成した林分密度管理図において推定された自然枯死線を見ると, $H = 4$ m で $Ry = 0.7$ 弱となり, そして $H = 6$ m に到達すると気象害に対して脆弱な樹形となる閾値である $Ry = 0.8$ を超えてしまう (図 3; cf. 嘉戸・西村 [2004], 小谷 [2009], 佐藤 [2003]). 林齢が若く, 地位指数が高い林分であれば成長は早い (図 5 参照), 収量比数が高い段階に急速に進んでしまう. 上層高が 4 m に達するまでが, 初回除間伐の実施時期としての安全圏内になると考えられる. 日本海北部沿岸地域で北海道に近い山形県では, 上層高が 4 m に達した時点で除伐を実施することを目標としており, その際, 1 伐 2 残を行い, 残りの保残列については千鳥状の抜き伐りを行うことが一つの選択肢となっている (庄内海岸松原再生計画策定

委員会 2008). これによって伐採率 66.6%の除間伐が達成されることになる. 山形県に倣い, 初回の除

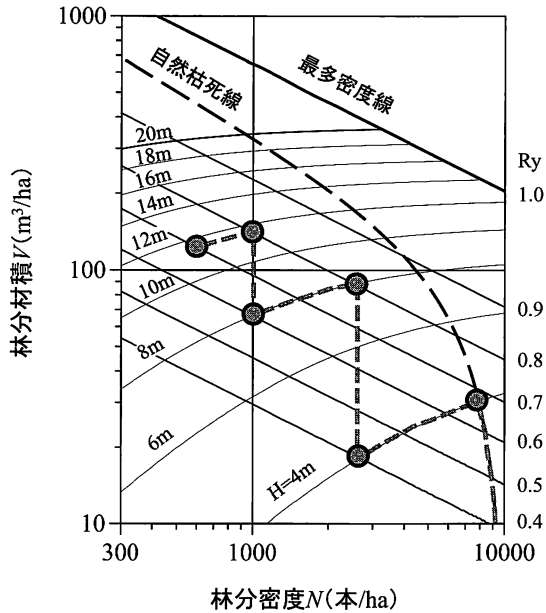


図6 クロマツ海岸林の除間伐経過モデル.

間伐を上層高 4 m 時において同様に実施すると, 北海道版の林分密度管理図上では, 上層高 4 m の等平均樹高線と $Ry = 0.4$ の等収量比数線の交点とほぼ同じ座標に N - V 関係が移動することになる. このときの林分密度は 2612.5 本/ha となり, この値は, 静内春立の 60% 除間伐区における除間伐直後の林分密度 2300 本/ha (図4) や, 北海道における最近のカラマツ等針葉樹の植栽密度 2500 本/ha に近い. なお, 海浜の環境下において樹高 4 m まで成長している林分は, 造成地の犠牲林帯とすべき海側林縁には出現することはまずないだろう. そのため, $H = 4$ m を初回除間伐の基準にすると, 犠牲林帯は自動的に除間伐の対象外ということになる.

一般に, 除間伐後の N - V 関係は, 林分密度管理図上においてはほぼ垂直方向に移動する. 2 回目の除間伐を, 冠雪害への感受性が高くなる $Ry = 0.8$ に到達した時点で実施すると考えると, 林分密度管理図上では, 上層高 8 m の等平均樹高線と $Ry = 0.8$ の等収量比数線の交点とほぼ同じ座標になる. このときの間伐強度を, 筆者らの除間伐試験に基づき, 伐採後 $Ry = 0.6$ に達するまでと考えると, N - V 関係は, $N = 1000$ における $Ry = 0.6$ の等収量比数線上の位置とほぼ同じ座標になる. そして, 3 回目の除間伐を, やはり $Ry = 0.8$ に到達した時点で実施すると考えると, 上層高が 12 m 程度の生育段階ということになる (数値計算では $H = 11.49$ m). ただし, 3 回目の除間伐に相当する林分についての除間伐試験データがなく, また, 2 回目と同様に $Ry = 0.6$ を目標とす

ると, 林分密度が 400 本/ha 程度の低密度となるため現実的ではない. ここでは暫定的に $Ry = 0.7$ を目標とする. これによって達成される林分密度は, 601.6 本/ha となる. この林分密度のまま上層高 14 m に達すると, ほぼ $Ry = 0.8$ との交点になる. 約 600 本/ha という値は, 森林総合研究所 (2011) が提案した上層高 14 m における目標本数密度 730~870 本/ha より若干低い程度である.

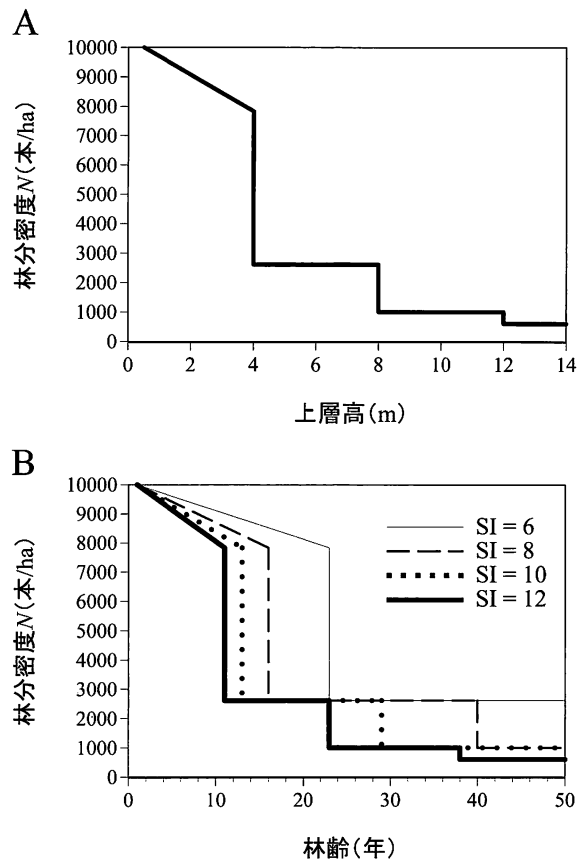


図7 クロマツ海岸林の施業体系図. A: シナリオ1, B: シナリオ2. 7B 図には, 例として地位指数 SI が 6, 8, 10, 12 の場合を示している.

3.5 施業体系図の提案

ここでは, 北海道におけるクロマツ海岸林の密度管理に関する施業体系図について, 図6に示した除間伐経過モデルに基づき, 二つのシナリオを提案する. シナリオ1として上層高を基準にした密度管理法を, そしてシナリオ2として林齢を基準とした地位指数ごとの密度管理法を, それぞれ図7A, Bに示す. 除間伐後の林分密度は, 3.4節で示した上層高 ($H = 4$ m, 8 m, 12 m) に対応した値を, そしてそれぞれの上層高に到達する林齢については, 図5に示した地位指数曲線から読み取った.

シナリオ1については, 上層高を基準としているため, 地位指数が不明な場合には上層高から適正な

林分密度を推定できる。ただし、上層高の推移についてはその都度、現地で確認しなくてはならないという不便さがある。

一般に本数調整伐を行う場合には、標準地を設定し、毎木調査が行なわれる。林齢と上層高が分かれば、対象林分の地位指数曲線上における位置が分かる。シナリオ2では、例として地位指数が6, 8, 10, そして12の4タイプの林分を想定した。地位指数が6の林分では、植栽後50年間で、林齢が23年生時に一度だけ除間伐すればよいことが分かる。地位指数が8と10の林分では、それぞれ16年生時、13年生時に最初の除間伐を行い、2回目を40年生時、29年生時に実施することになる。つまり、植栽後50年間で2回の除間伐で済む。そして地位指数が12の林分では、10年生時、23年生時、28年生時と、植栽後50年間で3回の除間伐を要する。

北海道がこれまで管理してきた現実の林分の状況をみれば、本数調整伐を実施されているはずの林分でさえ、収量比数が0.8を大きく超えるものが多数存在していた(図2)。これは、適正な密度管理がほとんど出来ていなかったことを意味している。高密度植栽という条件下では、林齢が若いうちに林分密度を大きく低下させておくことが必要である(小谷2009; 坂本ら2011)。そして、それこそが必要最小限の回数で除間伐を済ませる方法のベースになるだろう(図6, 7)。実際のところ、北海道に限らず、どの地域でも数年間隔での細やかな除間伐は不可能だろう。本研究では、北海道のクロマツ海岸林の密度管理方法として、除間伐効果と除間伐間隔を考慮した現実的な施業体系図を提案した(図7)。ただし、3.2節で触れたように、過密林分の取り扱い方法については課題として残っている。過密林分を、自然枯死線を下回る範囲まで林分密度と林分材積を落としたとしても、その後、枝が枯れ上がった脆弱な樹形が改善される可能性は低い。クロマツは先駆樹種であり、林内はカシワなど先駆性の広葉樹でさえ更新できるほど明るい(Masaka *et al.* 2012)。このような過密クロマツ林は広葉樹林化を促すのも一つの選択肢と思われる。

謝辞

本研究を行うに当たり、北海道水産林務部治山課、ならびに桧山、渡島、日高、胆振の各振興局林務課には多大な便宜を図って頂いた。(研)森林総合研究所の坂本知己氏には、本研究に対し有益な助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- [1] 安藤 貴 (1968) 同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究, 林業試験場研究報告, 210, pp.1-153.
- [2] 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.

- [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] 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.
- [5] 金内英司・中島勇喜・横倉 肇・布施和則 (2001) 過密海岸クロマツ林の間伐試験—山形県遊佐町の事例—, 東北森林誌, 6, pp.7-16.
- [6] 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.
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 小谷二郎 (2009) 海岸クロマツ林の密度管理と間伐効果, 石川県林試研報, 41, pp.1-6.
- [10] 函館営林局桧山営林署 (1974) 砂坂海岸林.
- [11] 真坂一彦・佐藤 創・明石信廣・福地 稔 (2001) クロマツ海岸林, どれだけ伐った方がいいの?—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.
- [12] 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.
- [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] Masaka K, Sato H, Kon H, and Fukuchi M (2012) Demographic and height growth response of native broad-leaved deciduous tree saplings to overhead canopy release in a coastal *Pinus thunbergii* forest in Hokkaido, northern Japan, J For Res, 17, pp.421-431.
- [15] 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.
- [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] 林業土木コンサルタンツ北海道支所 (1991) 砂坂海岸防災林保全調査報告書.
- [18] 斎藤新一郎 (1998) 砂坂海岸林, 砂防学会誌, 50 (5), pp.66-71.
- [19] 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.
- [20] 坂本知己・萩野裕章・野口宏典・鳥田和則 (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 (2), pp.1-6.
- [21] 坂本知己・萩野裕章・野口宏典・鳥田和則・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 (2), pp.79-84.
- [22] 坂本知己・萩野裕章・野口宏典・鳥田和則・後藤義明 (2011) 過密クロマツ海岸林の本数調整事例, 海岸林学会誌, 10 (1), pp.7-14.
- [23] 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期中期計画画成果 24 (安全安心-14) .
- [24] 庄内海岸松原再生計画策定委員会 (2008) 庄内海岸林施業管理指針—庄内海岸における森林の造成と管理の手引き—.

[受付 平成28年11月15日, 受理 平成29年6月3日]