

# クロマツ海岸林の密度管理図

嘉戸 昭夫・西村 正史

## A stand density diagram for Japanese black pine (*Pinus thunbergii* Parl.) planted on seashores of Toyama Prefecture

Akio KATO, Masashi NISHIMURA

富山県内の30カ所のクロマツ海岸林で本数密度、樹高および胸高直径を測定し、クロマツの林分密度管理図を調整した。この林分密度管理図を利用して、クロマツ海岸林を冠雪害から守るための密度管理法と水田を風害や潮風害から守るためのクロマツ海岸林の密度管理手法について検討した。その結果、クロマツ海岸林は収量比数が0.7以下になるように密度を調節した方が良いことがわかった。

### 1. はじめに

クロマツは耐潮性、耐乾性に優れていることから、防潮林や飛砂防備林として全国各地の海岸に造林されている。富山県でも富山湾に沿って広く造林され、高潮や潮風害から民家や水田を守るのに貢献している。しかし、県東部の入善町では海岸浸食が進んだことや圃場整備に伴って水田に転換されたこともあって、クロマツ海岸林は林帯の幅が狭くなったり、途中で切れたりする箇所が多くなり、水田の潮風害の発生が増加するようになった。そこで、昭和60年頃から海岸林造成が開始され、今日までに約3kmの海岸線にクロマツ海岸林が造成された。

ところが、2003年1月の大雪により、入善町の10～20年生のクロマツ海岸林を中心に大きな冠雪害を受けた。このような被害は同じ時期に県西部の氷見市などのクロマツ海岸林でも発生しており、さらに拡大すると、防潮や飛砂防備機能の発揮が困難になる恐れも生ずる。冠雪害の主因は多量の湿った降雪によるものであるが、その誘因は立木密度が高いために細長な樹形となり、林木の耐雪性が低下したことによると考えられる。

クロマツは全国ほぼ一様に10,000本/ha植栽されている。これは、海岸林が厳しい立地条件のもとで

生育するため、最前線の50～60m幅の林分は、犠牲林と呼ばれ強風や潮害のため正常な生育を示さない場合が多いからである。しかし、汀線から300m以上も内陸側に入ったところや富山湾のように比較的風や波が穏やかなところでは、クロマツの生育環境も良いことから、立木密度は過密な状態で推移する傾向がある。そこで、生育初期から除間伐によって立木密度を計画的に低下させる手法の確立が特に重要となっている。

安藤（1968）は植物の成長法則に基づいた方法で林木の密度管理を実施できる林分密度管理図を構築した。その後、林分密度管理図はスギ、ヒノキ、アカマツなど全国の主要樹種を対象に調整されてきたが、海岸林などの特殊環境下に造林されることが多いクロマツについてはこれまでのところ対象外とされてきた。最近になって、北海道のクロマツ海岸林を対象とした林分密度管理図が検討された（佐藤、2003）。ただし、富山県と北海道とでは、立地環境によって成長や生育状況が異なることから、それぞれの地域毎に林分密度管理図を調整する必要がある。

本報告は、富山県内のクロマツ海岸林を対象とした林分密度管理図を調整し、これを用いて耐雪性に富みかつ防潮機能を考慮した立木密度の管理方法に

ついて検討したものである

## 2. 資料と方法

富山県内のクロマツ海岸林を対象に30箇所の調査プロットを設け、解析に用いた(表-1)。調査項目は林齢、ha当たりの本数 $\rho$ 、ha当たりの胸高断面積 $G$ 、平均胸高直径 $D$ 、上層高 $H_T$ 、平均樹高 $H_M$ である。データの林齢は8~70年生、ha当たり本数は311~8,133本、上層高は4.9~24.1mであった。なお、上層高は樹高が最も高い方から数えてha当たり250本目までの林木の平均樹高とした(真鍋, 1974)。林分密度管理図の等平均樹高線は、ha当たりの胸高断面積と本数密度の収量密度効果式よりもha当たりの材積と本数密度との収量密度効果式を用いるのが一般的である。これは、幹材積は収穫量そのものであるために、幹材積を基準とすることが多いことによる(安藤, 1968)。

しかし、海岸クロマツ林のように収穫を目的としない場合にはあえて材積を算出する必要もなく、測定が容易な胸高直径から算出される胸高断面積を用いた方がより成長予測の精度も向上する。そこで、本研究では胸高断面積を基準とした等平均樹高線を用いることにした。

## 3. 結果と考察

### 3.1 林分密度管理図の調整

林分密度管理図は等平均樹高線、最多密度線、収量比数線、自然枯死線および等平均直径線などから構成されている。以下、これらの曲線の算出結果について述べる。

#### 3.1.1 等平均樹高線

ha当たり胸高断面積 $G$ を基準とした等平均樹高線は、次の収量密度効果式

$$\frac{1}{G} = aH_T^b + \frac{cH_T^d}{\rho} \quad (1)$$

において、上層高 $H_T$ を一定にしてha当たりの本数 $\rho$ を変化させたときの軌跡でしめされる。ここに、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ は定数である。なお、一般に林分密度管理図の調整には数100地点のプロットデータが使用されている。それに比べると、本調査地のプロット数が少なかったことから、これらのデータから最多密度線を求めることは困難と判断した。そこで、クロマツ海岸林の最多密度線の傾きを、クロマツの

近縁種であるアカマツの値で代用した。最多密度線は次式で表される。

$$G_f = k_2 \rho_f^{k_1+1} \quad (2)$$

ここに、 $G_f$ は最多密度における林分断面積、 $\rho_f$ は最多密度におけるha当たり本数、 $k_1$ と $k_2$ は定数である。安藤(1968)は全国のアカマツ林を対象に最多密度線を求め、 $k_1 = -1.2730$ を得ている。そこで、安藤の最多密度線とクロマツのそれとを一致させるために、収量密度効果式の定数 $b$ と $d$ の間に次のような条件を加え、 $b$ から $d$ が求まるようにした。

$$k_1 + 1 = \frac{b}{b-d} = -0.2730 \quad (3)$$

定数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ は、Microsoft Excelのソルバー機能を用いて、反復近似による重みづけ最小二乗法によって算出した。まず、定数 $a \sim c$ に任意の値を代入し、つぎに任意の調査地のの上層高とha当たり本

表-1 調査地の概要

プロット No.	所在市町名	林齢 年生	立木本数 本/ha	平均直径 cm	平均樹高 m	上層高 m	幹断面積 m <sup>2</sup> /ha
1	入善町	10	5250	6.9	4.5	4.9	21.5
2	入善町	10	7998	6.1	4.4	5.4	24.7
3	入善町	11	6128	6.0	4.5	5.5	19.0
4	入善町	10	8133	6.3	5.1	5.6	26.8
5	入善町	12	4800	6.4	4.7	5.6	16.8
6	入善町	12	5600	6.9	5.3	6.0	22.3
7	入善町	10	6133	5.9	5.1	6.1	17.7
8	入善町	11	6756	6.8	5.4	6.1	25.7
9	入善町	16	4500	8.2	6.0	6.9	25.1
10	入善町	13	5303	7.2	6.2	7.3	23.0
11	入善町	16	4500	8.6	6.1	7.3	27.8
12	入善町	14	6915	6.9	6.0	7.5	28.9
13	入善町	12	3133	8.9	6.4	7.6	20.9
14	入善町	13	4637	8.5	6.9	7.9	28.3
15	入善町	19	2400	10.8	8.4	8.8	24.9
16	入善町	25	2622	11.8	9.7	11.6	30.9
17	入善町	25	1733	13.0	9.7	11.6	24.3
18	入善町	-	521	29.3	16.7	20.7	39.8
19	入善町	-	311	36.9	21.0	22.0	37.8
20	入善町	-	533	33.7	20.9	24.1	52.0
21	黒部市	22	1650	13.1	11.3	13.4	36.3
22	黒部市	-	2600	14.1	12.7	15.2	44.9
23	黒部市	50	900	22.7	16.4	17.1	39.1
24	黒部市	55	356	35.8	19.1	19.6	37.7
25	富山市	-	2050	11.6	8.3	9.2	23.9
26	富山市	53	422	26.9	14.8	15.1	26.2
27	富山市	-	688	23.0	15.7	16.2	31.0
28	富山市	70	675	24.7	14.3	16.4	35.8
29	富山市	50	700	24.0	14.8	17.3	34.6
30	氷見市	-	2083	12.7	7.6	8.5	27.3

注：-は未調査項目。

数を (1) 式に代入することにより、その林分の 1/G の予測値が得られる。この予測値と実測値の偏差平方を求め、各点に重み付けをするために偏差平方の値をさらに 1/G の実測値の二乗で割った。このような計算を全ての調査地について実行し、その合計が最小になるように a ~ d を決めた。その結果から得られた各定数の値は次の通りであった。

a = 0.0822, b = - 0.4955, c = 3600, d = - 2.3106

3.1.2 最多密度線

最多密度線の定数  $k_2$  を以下の手順で求めた。競争比数  $R_c$  は次式で表される。

$$R_c = \frac{c H_T^d G}{\rho} \quad (4)$$

一般に、各調査林分について  $R_c$  を求め、この最小値をデータ中で林分密度が最大の林分の競争指数、すなわち限界競争比数  $R_f$  として、次式から  $k_2$  が算出される。

$$k_2 = \frac{(1-R_f)}{a \left( \frac{a R_f}{c - c R_f} \right)^{(k_1 + 1)}} \quad (5)$$

しかし、各調査林分について  $R_c$  を求めたところ、 $R_c = 0.12$  で最小となった林分でも林分は樹冠が完全に閉鎖しておらず、この値から最多密度線を求めると過小になると考えられた。そこで、安藤 (1968) が求めたアカマツの最多密度線に一致させることにした。そのためには  $R_f = 0.0514$  とすればよいことがわかったので、この値を (5) 式に代入して  $k_2 = 10^{2.6751}$  を得た。

3.1.3 等収量比数線

収量比数  $R_y$  は同じ等平均樹高曲線上における任意の点の断面積と最多密度曲線上の断面積の比で、この比が一定となる点を結んだ線が等収量比数曲線である。等収量比数曲線上の上層高と ha 当たりの本数および材積との関係は、次式で示される。

$$\log \rho_{R_y} = k_3 - 1.8151 \log H_T \quad (6)$$

$$\log G_{R_y} = k_4 - 0.2730 \log \rho \quad (7)$$

ここに、 $\rho_{R_y}$  : 各収量比数における ha あたり本数、 $G_{R_y}$  : 各収量比数における ha あたり断面積である。

収量比数 0.4 から 1.0 (最多密度) に対する (6)、(7) 式の定数  $k_3$  と  $k_4$  の値を次式から求め、その計算結

果を表-2 に示す。

$$k_3 = \log \frac{(1-R_f) R_y c}{(1 - (1-R_f) R_y) a} \quad (8)$$

$$k_4 = \log \left( \frac{a/c (1-R_f) R_y}{(1-R_f) R_y} \right)^{(k_1 + 1)} \quad (9)$$

3.1.4 等平均直径線と自然枯死線

等平均直径線を以下の手順で誘導した。各調査地における平均胸高直径 D と断面積平均直径  $D_g$  の関係は、次式で示され、常に後者の方が前者よりも 5

表-2 収量比数毎の  $k_3$  と  $k_4$  の値

$R_y$	$k_3$	$k_4$
1.00	5.9080	2.6751
0.95	5.6016	2.5692
0.90	5.4078	2.4928
0.85	5.2609	2.4279
0.80	5.1394	2.3684
0.75	5.0334	2.3114
0.70	4.9373	2.2553
0.65	4.8478	2.1986
0.60	4.7624	2.1405
0.55	4.6792	2.0801
0.50	4.5968	2.0161
0.45	4.5135	1.9477
0.40	4.4278	1.8731

表-3 10,000 本/ha 植栽の場合における自然枯死線上の立木本数と平均形状比

上層樹高 m	平均樹高 m	立木本数 本/ha	断面積 $m^2/ha$	平均直径 cm	形状比 m/m
2.0	1.8	8,966	7.2	3.0	53
3.0	2.7	8,352	12.2	4.1	59
4.0	3.6	7,762	16.6	5.0	65
6.0	5.4	6,810	23.7	6.3	76
8.0	7.2	6,060	29.2	7.5	86
10.0	9.0	5,433	33.9	8.5	95
12.0	10.8	4,888	37.9	9.5	102
14.0	12.6	4,402	41.5	10.4	108
16.0	14.3	3,960	44.8	11.4	113
18.0	16.1	3,553	47.8	12.5	116
20.0	17.9	3,176	50.6	13.6	119
22.0	19.7	2,824	53.3	14.7	120

%程度大きくなる傾向が認められた。

$$D_g = 1.0503 D \quad (r^2 = 0.9781, n = 30) \quad (10)$$

したがって、胸高断面積から平均胸高直径を算出する場合には、この点を考慮する必要がある。また、haあたり胸高断面積Gと断面平均直径Dgの関係は、次式で示される。

$$D_g = 200 \sqrt{\frac{G}{\pi \rho}} \quad (11)$$

(11) 式に (1) と (10) 式を代入して、DとHおよびρからなる次の関係式を得た。

$$D = 200 \sqrt{\frac{1}{(a H_T^b + c H_T^d / \rho) \pi \rho}} / 1.0503 \quad (12)$$

自然枯死線は、平均胸高断面積gと植栽本数ρ<sub>0</sub>によって次式で示される。

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} - \frac{g}{k_5 \rho^{k_1+1}} \quad (13)$$

ここに、ρはある上層高におけるhaあたり本数、ρ<sub>0</sub>は植栽本数である。なお、R<sub>r</sub> = 0.0514と仮定して、

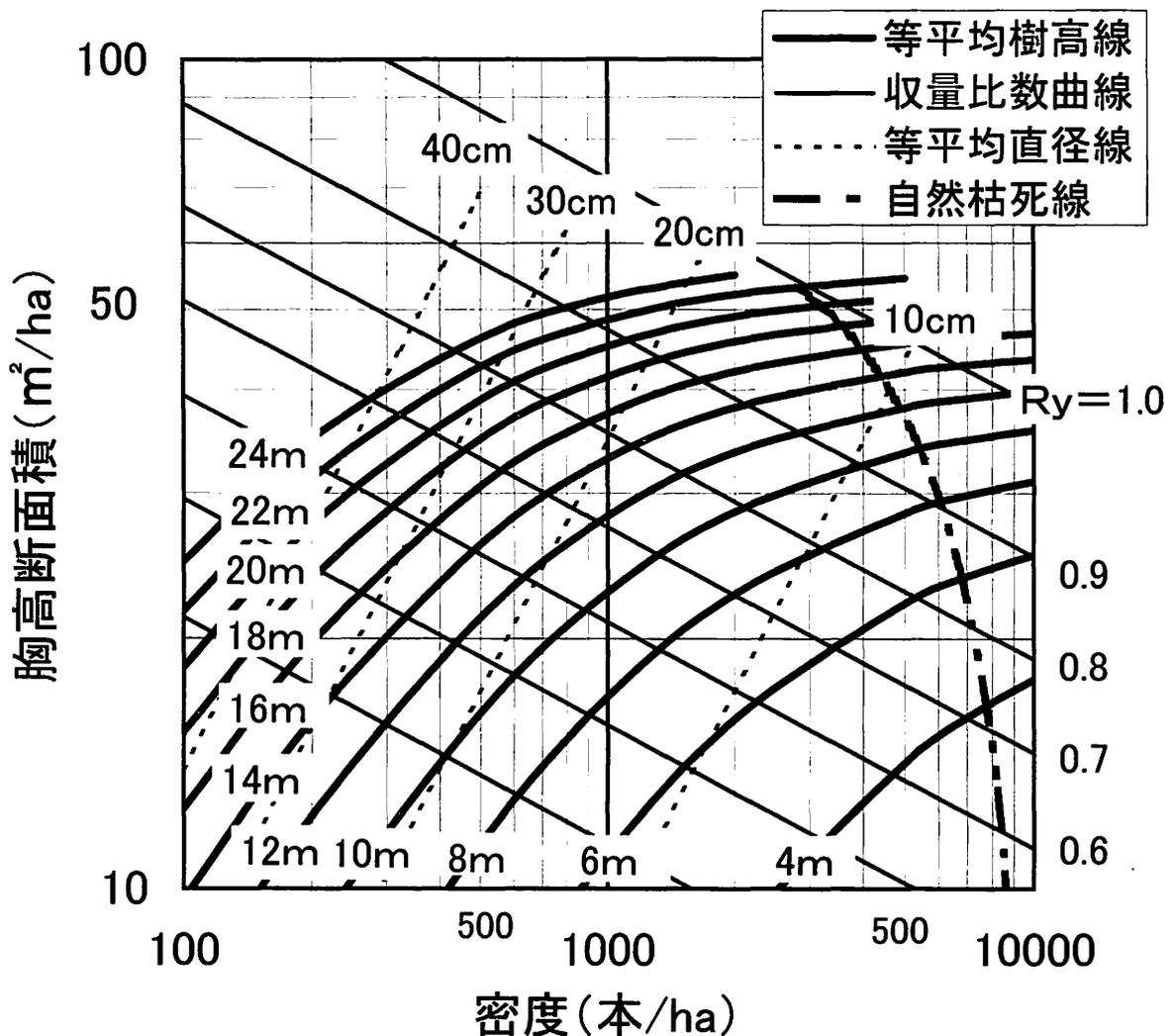


図-1 クロマツ海岸林の密度管理図

$k_5$  を次式から算出した。

$$k_5 = \frac{k_1 R_f}{c(R_f / (1 - R_f) a / c)^{k_1} (b/d)^{k_1 + 1}} \quad (14)$$

$$= -917.293$$

まず、(13) 式の平均胸高直径  $D$  をある値に固定して、上層高を 2 m 間隔で順次変化させて、その都度 (13) 式を満足する場合の  $\rho$  と  $G$  を求めた。こうして得られた  $\rho$  と  $G$  からなる点を結び一つの等平均直径曲線が得られる。そこで、同様の手順で、平均直径を変えながらそれぞれに対応する等平均直径曲線を求めた。

クロマツ海岸林の植栽本数は 10,000 本/ha が一般的である。そこで、この場合における自然枯死線の上層高、本数密度および断面積を算出し、表-3 に示した。この結果によると、上層高が 10 m になると本数は植栽密度の 54%、20 m に達すると 32% に低下する。

3.1.1 節～3.1.4 節で求めた式を用いて作成したクロマツの林分密度管理図を図-1 に示す。

### 3.1.5 地位指数曲線

図-1 により、ha 当たりの本数と上層高から ha 当たりの胸高断面積や等平均直径などを読みとることができるが、林齢との対応がなされていない。そこで、地位指数曲線を作成し、林齢を林分密度管理図上の上層高に対応させることにした。

図-2 は各調査プロットの林齢  $t$  と上層高  $H_T$  との関係を示したものである。両者の関係を次式の Mitscherlich 成長曲線式で近似した。

$$H_T = M_H (1 - L_H \exp(-k_H \cdot t)) \quad (15)$$

その結果、パラメータ  $M_H$ 、 $L_H$ 、 $k_H$  はそれぞれ 18.76、1.139 および 0.459 であった。一般には、パラメータ  $L_H$ 、 $k_H$  を固定し、地位に応じて  $M_H$  を変化させることにより、地位指数曲線が作成されている (田中、1996)。また、各プロットの上層高と平均樹高との間には次の関係が認められた。そこで、上層高  $H_T$  から平均樹高  $H_M$  を推定する場合にはこの式を用いた。

$$H_T = 1.115 \cdot H_M \quad (d.f. = 28, r^2 = 0.978) \quad (16)$$

つぎに、 $M_H = 18.78$  を富山県における平均値とみなして、平均樹高を算出すると 10 年生で 4.7 m、20 年生で 9.2 m、30 年生で 12.0 m、40 年生で 13.8 m と推

定された。この樹高曲線は富山県のアカマツ 1 等地 (富山県林試、1965) および秋田県のクロマツ 1 等地 (金子、2000 a) に相当するものである。したがって、富山県のクロマツ海岸林は全体的にみても成長が良いといえる。これは富山湾沿いの海岸では比較的風や波が穏やかで、生育環境も海岸林としては良好であるからであろう。このような傾向は、本県では犠牲林のないところでも海岸林が成立しているところが多いことや常風の強いところでは一定方向に立木が傾斜する傾向があるが本県のクロマツ林ではその傾斜の程度が小さいことから推測される。

### 3.2 冠雪害に強くかつ防風・防潮効果が大きい林分条件

日本海側における主要な森林気象災害の一つに冠雪害があげられる。なかでも、富山県の平野部は冠雪害の危険性が最も高い地域とされている (佐伯・杉山、1965)。既存の調査結果から冠雪害を受けやすい林木の特徴として、形状比 (樹高 m / 胸高直径 m) が大きいこと、すなわち樹幹が細長なことがあげられており、その値が 70 を越えると多くの樹種において危険性が高くなるといわれている (高橋、1977; 石川ら、1987)。金子ら (2000b) は 1998 年 11 月に秋田県で発生したクロマツ海岸の冠雪害を解析し、形状比 80 以上の個体は幹折れ、幹曲がりなどの致命的な被害が多く、70 以下の個体では梢端折れなどの軽微な被害であったことから、日降雪量 60 cm の条件下では個体の形状比 70 を管理目標とし、80 を上限ラインとした育成方法を取ることを推奨している。この

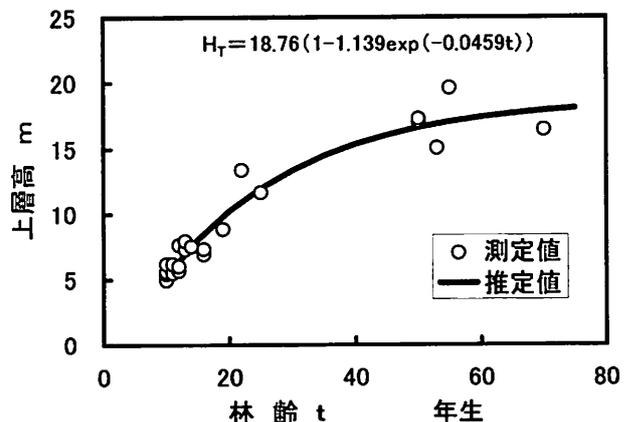


図-2 地位指数曲線

報告では個体の形状比と林分の平均形状比の関係が明らかにされていないが、林分の平均形状比（平均樹高／平均胸高直径）が70以下であれば、その林分内における大半の個体は形状比が80以下になると推測される。また、過去30年間の富山湾沿いの市町村における日最大降雪量は53～75cmである。これらのことから、平均形状比が70以下になるように林分密度を管理すれば、耐雪性の高い林分に誘導できると考えられる。

クロマツ海岸林における一般的な植栽本数は10,000本/haである。そこで、10,000本/ha植栽を行い、その後、自然枯死線に沿って成長するものと仮定した場合に、平均形状比がどのように推移するかを林分密度管理図を用いて算出し、表-3に示した。その結果、立木本数は樹高成長に伴って急激に低下するものの、平均形状比は上層高が6mで70を越え、成長に伴って急激に増大する傾向があり、上層高が10mになると90を越える。この結果から、仮に間伐をせずに自然のままに放置すれば、冠雪害の危険性がさらに増大することが推測される。

入善町のクロマツ海岸林は種々の公益的機能のなかでとくに水田の防風・防潮機能を重要視して整備された。防風林に比べると防潮林に関する研究報告はすくないが、防風林は空気中の海塩微粒子を捕捉濾過する効果が高いこと（真木、1987）、クロマツ防風林による風速の減少程度と塩分量の減少程度は類似しているが、塩分量の減少割合の方がより高いこと（玉手ら、1957；樫山、1967a）が明らかされている。これらのことから、林帯によって風速を減少させることができれば、同時に防潮効果も期待できるといえる。樫山（1967b）は防風林の密度と防風効果に関して次のように述べている。①林帯の密度が密になり過ぎると風下林縁木直後では風速が弱くなるものの風の渦ができるために風速の回復が早くかつ風速の減る範囲も狭くなる、②疎な林帯では風速の減りかたが少なくかつその範囲も狭い、③これに対し適度に密な林帯では風速の減りかたが大きくかつその範囲も大きい、④防風林の最適林分密度は、正面から見て枝・葉・幹の密閉度が60%前後で、かつ、すき間がかたまらずに全面にわたって細かく分散している場合である。このように、密閉度が60%前後であれば適度な通風性もあって防風効果が大きくなることが他の研究者によっても支持されている（真

木、1987；鳥田・福地、1997）。

一般に、密度管理図の収量比数との関連において密仕立の場合は0.8、中庸仕立の場合は0.7、疎仕立の場合は0.6、極疎仕立の場合は0.5とされている（安藤、1968）。この基準に従うと、防風効果の大きな林帯は過密でも疎でもない立木密度であることから、適正な密閉度を収量比数で示すと0.7前後と考えられる。ただし、人工林では立木密度が同じであっても、列状に間伐する場合、一本置きに機械的に間伐する場合、主風向と同じ向きに間伐する場合および主風向に直交する向きに間伐する場合など立木の配置の

表-4 平均形状比70で密度管理した場合における立木本数と成長予測

上層高	平均樹高	立木本数	断面積	平均直径	収量比数	平均形状比
m	m	本/ha	m <sup>2</sup> /ha	cm		m/m
2.0	1.7	8,966	7	3.0	0.44	57
4.0	3.5	7,773	17	5.0	0.72	70
6.0	5.2	4,451	21	7.5	0.76	70
8.0	7.0	2,981	25	9.9	0.79	70
10.0	8.7	2,179	29	12.4	0.81	70
12.0	10.4	1,684	32	14.9	0.82	70
14.0	12.2	1,354	35	17.4	0.83	70
16.0	13.9	1,119	38	19.9	0.84	70
18.0	15.7	946	41	22.4	0.85	70
20.0	17.4	814	43	24.8	0.85	70
22.0	19.1	710	46	27.3	0.86	70
24.0	20.9	627	48	29.8	0.87	70

表-5 収量比数0.7で密度管理した場合における立木本数と成長予測

上層高	平均樹高	立木本数	断面積	平均直径	収量比数	平均形状比
m	m	本/ha	m <sup>2</sup> /ha	cm		m/m
2.0	1.7	8,966	7	3.0	0.44	51
4.0	3.5	6,991	16	5.2	0.70	61
6.0	5.2	3,349	20	8.2	0.70	57
8.0	7.0	1,987	23	11.5	0.70	54
10.0	8.7	1,325	25	14.8	0.70	53
12.0	10.4	952	28	18.3	0.70	51
14.0	12.2	720	30	21.9	0.70	50
16.0	13.9	565	32	25.5	0.70	49
18.0	15.7	456	34	29.3	0.70	48
20.0	17.4	377	36	33.1	0.70	47
22.0	19.1	317	37	36.9	0.70	46
24.0	20.9	270	39	40.8	0.70	46

仕方により密閉度が大きく変化することが指摘されている（鳥田・福地、1997）。

3.3 冠雪害と防風・防潮効果を考慮した密度管理

冠雪害を考慮してクロマツ海岸林の平均形状比を70で管理する場合の立木密度を（14）式から計算して表-4に示した。ここで、平均形状比は平均樹高／平均胸高直径として求めた。この場合、平均形状比は70以下となるものの、収量比数は上層高4mで0.7を越え、成長に伴って一層過密状態になる。また防風・防潮効果を考慮して収量比数0.7で管理する場合の立木密度を計算した結果を示すと表-5のとおりである。この場合は、いずれの上層高においても平均形状比が70を越えることはなく、冠雪害の危険性が小さいといえる。

そこで、本県におけるクロマツ海岸林の密度管理指針として、収量比数が0.7以下になるように密度管理を行うことを提案する。この管理指針と新潟県（中沢、1986）、秋田県（金子、2000c）、青森県（加藤、1978）、北海道（佐藤、2003）などにおけるそれとを比較するため、立木本数と平均樹高の関係を図-3に示した。なお、秋田県および青森県の管理指針は汀線から300m以上の比較的生育環境の良いところを対象としたものである。その結果、本管理指針の立木密度は秋田県のそれとほぼ一致し、青森県と比べると初期には一致するものの、成長に伴って低密度で推移する傾向があり、新潟県や北海道のそれに比べてより低密度であった。収量比数0.8で管理した場合には新潟県や北海道とほぼ一致した。一般に立木密度は汀線に近くて生育環境が悪いところほど高く、生育環境が良くなるほど低くすることが求められている（加藤、1978）。したがって、本県と新潟県や北海道との立木密度の差異は生育環境条件の厳しさの違いに因るものである。個々の林木の耐風力と同時に林分の耐風力を高めるためには密植を避けなければならないことから（椋山、1967b）、生育初期において枯損や成長不良の危険性が小さいところではできるだけ低密度で管理することが重要と考えられる。

本研究で求めた密度管理指針に沿って林分密度を調整するには、本数率30%程度の間伐であれば上層高が8m（15年生）になるまでに3回、それ以後5回の合計8回程度実施する必要があることがわかった（図-4）。上層高が8mに達する平均的な林齢は

（16）式より計算すると15年生になる。しかし、15年生までに4回の間伐は管理経費の面から負担が大きすぎる。間伐回数を減らすには一回当たりの間伐率を上げることも考えられるが、林分密度管理図を用いた場合、一回の間伐で動かす収量比数は0.15以下とされており（日本林業技術協会、1999）、それ以上の強度の間伐を行った場合にはその後の成長予測ができなくなる。

そこで、植栽本数を見直すことが考えられる。クロマツ海岸林では全国一律に10,000本/ha植栽が採用されているが、本県の海岸林のように立地環境がさほど厳しくないところでは、5,000本/ha程度に植栽本数を減らすことも必要と考えられる（図-4）。この場合、上層高が4.7m（10年生）になるまでは間伐を実施しなくとも平均形状比が70以下に保つことが可能で、上層高が8m（15年生）になるまでの間伐も2回に削減できる。植栽本数を減らした場合に問題となるのは、生育初期における潮風害の発生や樹冠閉鎖の遅延であるが、これは防風柵や防風ネットを設置することにより風速や塩分量をかなり減少させることができると考えられる。

間伐にあたっては、まず被害木、傾斜木あるいは下層木を中心に選木する。過去に梢端折れなどの被害を受けた木や傾斜木は成長が見込めないこと、樹冠が偏心しているために冠雪害を受けやすいことなどがあげられる。また下層木を間伐するのは、林分密度管理図が下層間伐を前提に調整されていること、上層木に比べて成長量が小さくかつ形状比が大きくて雪害を受ける危険性が大きいこと等による。また、

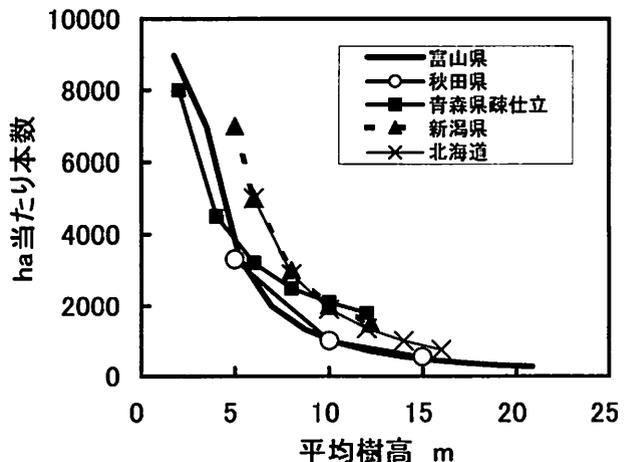


図-3 クロマツ海岸林の林分密度管理指針の比較

人工林は立木の分布が規則的であるので、間伐木の配置によっては防風や防潮効果に影響を与えることもある。鳥田・福地（1997）は風洞実験を行い、過密な内陸防風林に対しては、密閉度50～70%を目標に主風向にそって列状間伐を行うと効果的であるとしている。クロマツ海岸林も過密になる傾向があることから、この結果を参考にすべきであろう。

防風・防潮効果を高めるには枝下高をできるだけ低く保つことも重要であるが、成長に伴い枝下高も上昇する傾向がある。安藤（1968）は、クロツの近縁種であるアカマツの枝下率（枝下高/樹高×100）と収量比数との関係式を求めている。その式によると、収量比数0.5と0.7の場合における枝下率はそれ

ぞれ50, 60%となる。したがって、極疎仕立とした場合でも、枝下高が樹高の半分の高さまで上昇する。加えて、入善町の海岸林は林帯幅が約30mと狭いことから、潮風が枝下部を通り抜けて、水田に被害をもたらす恐れもある。そこで、タブノキなどのように耐陰性が高くかつ耐潮性に優れた樹種を下木として導入して二段林にすることや防風柵や防風網を設置するなどして防潮効果を高める必要があろう。

#### 4. おわりに

クロマツ海岸林を対象とした密度管理図を調整し、これを基に冠雪害に強くかつ防風・防潮効果が高い林帯を造成するための立木密度管理について検討し

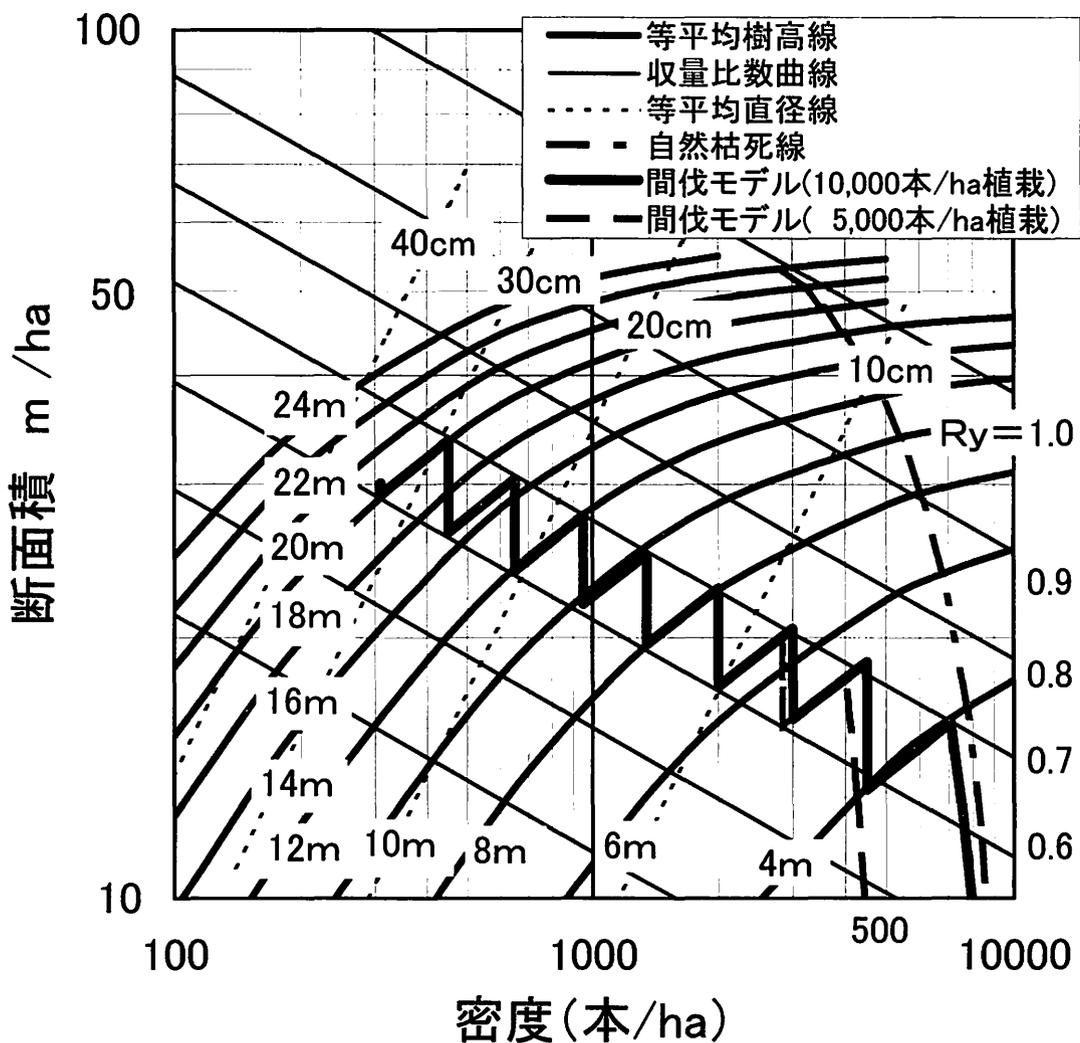


図-4 間伐モデル

た。ただし、本格的な林分密度管理図を調整するには数100点の毎木調査資料が必要となるが、県内にはクロマツ林分が少なかったため、暫定的なものにならざるをえなかった。また防風・防潮効果を評価するうえで、密閉度と立木密度や立木配置の関係を明らかにする必要がある。これらの資料を蓄積した段階でさらに手直ししていく必要があろう。本報告での立木密度の指針は同じ日本海側にある新潟県や山形県などのそれに比べると疎仕立となった。これは、富山県は冠雪害の危険性が最も高い地域であること、クロマツの生育環境が他県よりも良好なところが多いことなどによるためである。これまで、富山県でも10,000本/ha植栽が行われてきたが、植栽密度を下げることであれば従来よりも間伐回数を減少させることができると同時に個体の耐雪性も高めることができると考えられる。今後は、全国一律の植栽本数ではなく、それぞれの生育環境に応じてそれを変えてみる試みも必要と考えられる。

#### 引用文献

- 1) 安藤 貴：密度管理、農林出版、246pp、(1968)
- 2) 石川正幸・新田隆三・勝田 柁・藤森隆郎：冠雪害－発生のしくみと回避法－、わかりやすい林業解説シリーズ83、日林協、101pp、(1987)
- 3) 加藤宏明：屏風山海岸防風林の施業問題、林業試験場東北支場たより 200、1-6、(1978)
- 4) 金子智紀：秋田天王海岸におけるクロマツの生育区分、東北森林科学会誌5(2)、91-96(2000a)
- 5) 金子智紀・石田秀雄・金澤正和：秋田県沿岸南部におけるクロマツの冠雪害について、東北森林科学会誌5(2)、97-100、(2000b)
- 6) 金子智紀：秋田海岸におけるクロマツ生育試験林の健全性と本数管理、東北森林科学会誌5(2)、101-104、(2000c)
- 7) 檜山徳治：海岸防災林、林業技術308、18-21、(1967a)
- 8) 檜山徳治：内陸防風林、林業技術309、23-26、(1967b)
- 9) 真木太一：風害と防風施設、文永堂出版、301pp、(1987)
- 10) 真鍋 昭：トドマツの密度管理図、北方林業叢書 53、北方林業会、69pp、(1974)
- 11) 林野庁：人工林林分密度管理図(解説書)、日林協、22pp、(1999)
- 12) 高橋啓二：造林地の冠雪害とその対策、わかりやすい林業解説シリーズ61、日林協、47pp、(1977)
- 13) 玉手三葉寿、佐藤 正、檜山徳治、高橋亀久松：防風林による海風中の塩分減少効果に関する研究(Ⅱ)、林試研報100、55-82、1957
- 14) 田中和博：森林計画学入門、森林計画学会出版局、192pp、(1996)
- 15) 鳥田宏行・福地稔：防風効果を考慮した防風林の間伐に関する研究－風洞実験の結果より－、北海道林試研報34、97-102、(1997)
- 16) 富山県林業試験場：富山県主要樹種林分収穫表、富山県林業試験場、33pp、(1965)
- 17) 佐藤 創：クロマツ林の密度管理方法、光珠内季報129、11-14、(2003)

#### Summary

The stem number per ha, tree height, and the diameter of a tree at the breast-height were measured in 30 stands of Japanese black pine (*Pinus thunbergii* Parl.) planted on seashores of Toyama Prefecture, and a stand density control diagram for the pine trees was adjusted. A method of stand density control for the pine trees was examined by using the stand density control diagram in order to prevent snow damage of the pine-tree stand and wind damage or salty wind damage of a paddy field by the pine-tree stand. Stand density of the pine trees should be controlled in order to set a ceiling to the relative yield ratio at below 0.7.