

海岸クロマツ林の密度管理と間伐効果

小谷二郎

要旨：石川県の海岸クロマツ林の密度管理の指標を検討するとともに、間伐試験によって成長・形状比・枝下高率の変化を観察し、間伐の方法やスケジュールを検討した。県内の実態調査の結果から、全国のアカマツ林の密度管理図上で計算される収量比数を管理の指標としたところ、ばらつきはみられるものの収量比数 0.6~0.7 以下で平均形状比 70~75 以下に保つことができることが示唆された。間伐後 4 年間の林分状況変化から、材積間伐率 50%の強度間伐でも 4 年後には平均形状比が 80 以上になったことから、樹高 10m までは 2~3 年に 1 度の間伐を実施するスケジュールを考える必要があると考えられた。

キーワード：海岸クロマツ林、間伐、形状比、密度管理、収量比数

I はじめに

北陸地域の海岸線は、冬季間、毎年強い北西風に見舞われている。そのため、石川県の加賀市から羽咋市にかけての海岸砂丘地では、古くは江戸時代より海岸防災林としてクロマツ林の造成に力が注がれてきた。当初は、強風と飛砂の影響によってクロマツの活着率も低かったようであるが、現在では前砂丘を背後として、きめ細かな静砂垣によってクロマツはほぼ 100%の活着率となっている。海岸でのクロマツ林は、1 ha 当たり 10,000 本の高密度植栽で造成されている。これは、前述のとおり当初は活着率が低かったことが原因と思われる。活着率が向上した現在では、高密度のクロマツ林をどのように管理していくかが最も重要な課題の 1 つとなっている (小田, 1992)。

海岸でのクロマツ林の造成の目的は、防風や飛砂防備である。したがって、一般の経済林とは密度管理の方法が異なり、防風や飛砂防備に効果的な密度で維持することが求められる。しかしながら、石川県ではほとんどの海岸砂地の前線部に天然または人工の砂丘 (前砂丘) が造られているため、防風等の効果が砂丘の影響なのか林分の影響なのかが不明確な場所がほとんどである。また、高密度に植栽されたクロマツ林は、枝の枯れ上がりによって幹の太りが抑制され、冠雪や強風など

の影響によって幹折れや倒伏被害を受けやすくなる可能性が高い (坂本ら, 2007)。したがって、まずクロマツ林そのものを健全に生育させるための密度管理方法を検討することが重要と考えられる。

そこで、この研究では県内のクロマツ林の生育実態を調査することによって、健全なクロマツ林維持のための密度管理方法を検討するとともに、実際に間伐試験を行って間伐の効果を検証し、健全性を保つための間伐方法や時期などの基準を検討した。

II 調査地と調査方法

1 調査地

1) 実態調査

調査地は、石川県の河北郡内灘町から加賀市までの 10~110 年生の 115 箇所のクロマツ林である。

表-1 クロマツ林の間伐前後の林分状況

No	場所	間伐前後	本数(間伐率) 本/ha (%)	材積(間伐率) m ³ /ha (%)	胸高直径 cm	樹高 m	形状比	枝下高 m	間伐方法		
1	小松1	前	7,500	47.3	5.4	3.7	71.6	1.4	弱度		
		後	5,500	26.7	43.7	7.7	6.1	4.0		66.2	1.5
1	小松2	前	8,000	95.5	6.7	5.2	73.9	2.7	強度		
		後	5,000	37.5	79.3	16.9	7.7	5.4		71.3	2.7
2	根上1-1	前	9,400	32.7	4.5	3.1	70.5	0.9	弱度		
		後	8,100	12.8	31.0	5.4	4.7	3.2		68.8	0.9
2	根上1-2	前	9,300	36.7	4.6	3.1	68.8	0.8	強度		
		後	6,500	29.0	31.5	14.3	5.2	3.6		65.7	0.9
	根上1-3		9,500	0.0	40.6	0.0	4.7	3.3	72.7	0.9	対照
3	根上2-1	前	4,100	55.1	7.6	4.5	60.0	1.8	弱度		
		後	3,400	17.1	52.0	5.6	8.0	4.8		61.2	1.9
3	根上2-2	前	4,600	93.0	8.4	5.6	68.5	2.4	強度		
		後	3,400	26.1	79.5	14.5	9.0	6.0		68.1	2.5
	根上2-3		4,700	0.0	85.6	0.0	8.2	5.2	64.5	1.8	対照
4	金沢1	前	9,900	44.2	4.6	3.5	76.9	0.5	弱度		
		後	7,200	27.3	38.5	13.0	5.2	3.5		69.3	1.6
4	金沢2	前	9,300	63.8	5.3	3.7	68.8	0.7	強度 (列状)		
		後	5,200	44.1	32.0	49.9	5.5	3.7		68.5	1.7
4	金沢3	前	9,200	48.5	5.0	3.7	77.9	0.7	強度		
		後	6,700	30.4	38.7	20.3	5.4	3.7		70.2	1.7

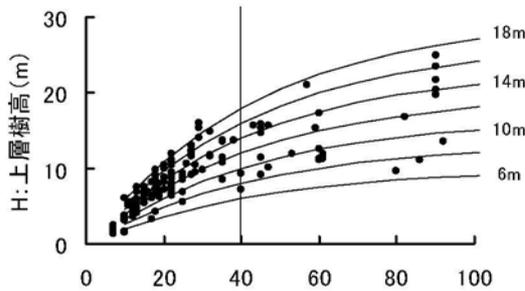


図-1 クロマツの地位指数曲線 (40 年生)
 式) $H = MH (1 - LH e^{KH})$
 ただし、 $LH : 1.01$ 、 $KH : -0.023$
 $MH : 18m = 30.126$ 、 $16m = 26.778$ 、
 $14m = 23.431$ 、 $12m = 20.084$ 、
 $10m = 16.737$ 、 $8m = 13.389$ 、

2) 間伐試験

実態調査地ののち、10~30 年生の 4 箇所の林分を選んで間伐試験を行った。場所および間伐前の林分状況は表-1 のとおりである。

2 調査方法

1) 実態調査

林分内に 25~400 m² の方形コドラートを設定して、全立木について胸高直径・樹高・枝下高を測定した。樹高と枝下高の測定は測高桿とバーテックス (Timbertech 社) を用い、胸高直径の測定は直径巻尺を用いた。調査は、2003~2007 年の 5 カ年で行った。

2) 間伐試験

間伐試験は、各林分に 10m×10m の方形コドラートを 2~3 個設けそれぞれ間伐強度が異なるように設定して行った (表-1)。間伐強度は、強度区が本数間伐率 26~44% (材積間伐率: 14~49%)、弱度間伐区が同 13~27% (同: 5~13%) で、No.4 では 3 残 1 伐の列状+被圧木間伐を実施した。列状間伐区以外は、小径木中心の下層間伐である。なお、調査地 No. 2 と 3 では無間伐の対照区も設けた。No. 3 以外は、これまでまったく手が加えられていない林分である。試験地に設定した林分は、すべて 1m 前後で枝打ちが行われている。これは、間伐時に林内に入りやすくすることを目的としているようである。コドラートを設定したのち、樹高・胸高直径・枝下高をした。なお、胸高直径は再測が可能なように、全立木に対してナンバーテープとスプレー式のペンキで胸高部位にマーキングした。間伐は

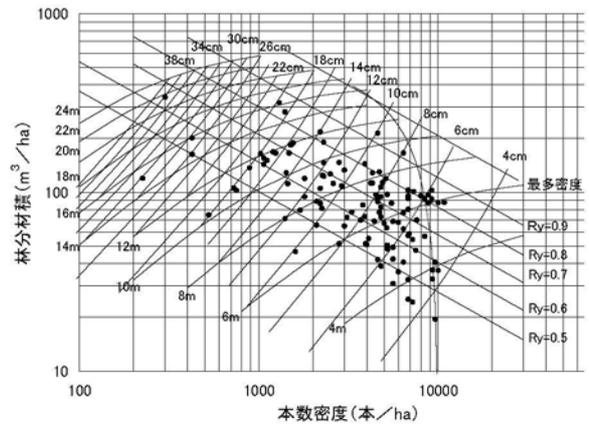


図-2 立木密度と林分材積の関係 (県内の実態)
 全国のアカマツ林の密度管理図 (安藤、1968) を使用

2003 年 12 月に行い、調査は 2007 年 12 月まで継続した。胸高直径は毎年 12 月に、樹高と枝下高は 2003 年と 2007 年の 2 回調査を行った。胸高直径は直径巻尺を用いて 0.1cm 単位まで、樹高と枝下高は測高桿を用いて 1cm 単位まで測定した。

3 解析方法

実態調査で得られたデータを用いて、林齢と平均樹高 (匝高木除く) の関係から地位指数曲線を導き出した。曲線式はミッチャーリッヒの成長曲線を用いた。また、材積は胸高直径と樹高から立木幹材積表 (日本林業調査会、1970) を用いて算出した。クロマツ林では林分密度管理図が作成されていない。そこで、計算によって得られた林分材積は、日本海地方および全国のアカマツの林分密度管理図 (日本林業技術協会、1999; 安藤、1981) によって評価し、その適合性を検証した。

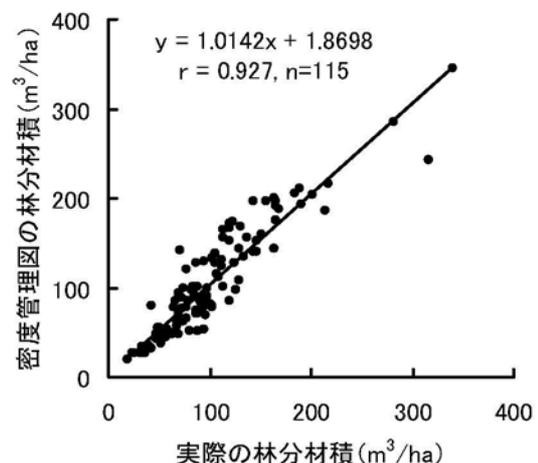


図-3 林分材積の検証 (密度管理との比較)

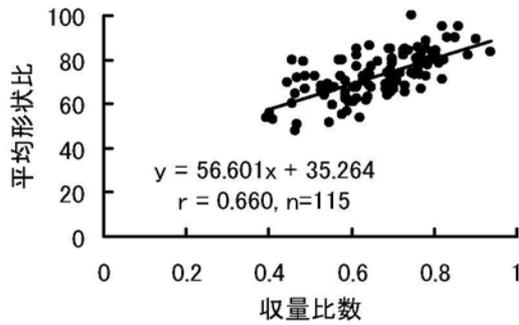


図-4 収量比数と平均形状比の関

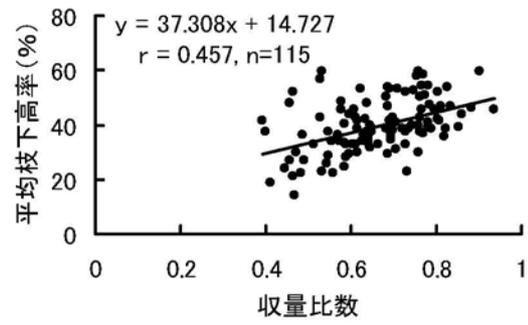


図-5 収量比数と平均枝下高の関

III 結果

1 地位曲線

図-1は、調査林分ごとの林齢と上層木平均樹高の関係およびミッチャーリッヒの成長曲線から導き出された地位指数曲線である。40年生時の上層木の平均樹高は、中間で12m、地位の上限で18m、下限で6mと推定された。

2 林分の実態調査

県内のクロマツ林の立木密度と林分材積の関係を既存の林分密度管理図上にプロットした(図-2)ところ、調査した林分で最多密度線を上回る林分はみられなかった。実態調査で算出された林分材積の値は、全国のアカマツ林の密度管理図(安藤、1968; 図-2)の計算式で算出された林分材積との間で一致性が高かった(図-3)。実態調査の結果、86%は収量比数0.5以上で、61%以上が同0.6以上で、34%以上が同0.7以上で管理されていた。

3 収量比数と形状比および枝下高率の関係

全国の密度管理図で算出された収量比数と実態調査で得られた平均形状比の関係を図-4に示す。そ

の結果、ばらつきはみられるが両者の間に正の相関関係が認められた。収量比数0.6、0.7、0.8で、平均形状比はそれぞれ約70、約75、約80と推定された。また、収量比数と平均枝下高率の関係においても、ばらつきが大きい有意な正の相関関係が認められた(図-5)。その結果、収量比数0.6、0.7、0.8で、平均枝下高率はそれぞれ約37%、約41%、約45%と推定された。

4 間伐試験

1) 成長と枝下高の変化

表-2は、間伐4年後の成長および形状比と枝下高の変化を示している。対照区を設定したNo.2と3では若干傾向が異なった。No.2では間伐強度の違いによる成長量または成長率に有意な差はみられなかった反面、対照区の枝下高の変化量が間伐区に比べて有意に大きかった(分散分析: 以下 ANOVA, $p < 0.05$, Scheffe の多重比較, $p < 0.05$)。逆に、No.3では枝下高に変化がみられなかったが、間伐区は対照区に比べて胸高直径または樹高の成長量(率)が大きくなる傾向があった(ANOVA, $p < 0.05$, Scheffe

表-2 間伐4年後の成長、形状比および枝下高率の変化

No	場所	方法	本数(変化・枯死率)			胸高直径(成長・率)			樹高(成長・率)			形状比(変化)		枝下高(変化・率)		
			(本/ha)	Δ	(%)	(cm)	Δ	(%)	(m)	Δ	(%)	Δ	(m)	Δ	(%)	
1	小松1	弱度	5,000	-500	9.0	7.2	1.1	4.0	5.7	1.7	8.9 a	82.0	15.2 a	2.4	0.9 a	11.1 a
	小松2	強度	4,100	-900	36.0	11.2	1.3	3.3	7.9	1.7	6.2 b	82.2	9.2 b	3.1	0.5 b	4.5 b
	根上1-1	弱度	7,400	-700	26.0	6.1	1.2	5.7	5.1	1.9	12.2	89.4	22.4	1.8	0.9 b	17.2
2	根上1-2	強度	5,900	-600	8.0	6.6	1.3	5.8	5.6	2.0	11.8	86.0	19.9	2.0	1.0 b	19.0
	根上1-3	対照	8,500	-1,000	12.0	5.8	1.1	4.5	5.5	2.0	10.9	92.0	21.3	2.2	1.2 a	20.1
	根上2-1	弱度	1,900	-1,500	41.0	9.3	1.4 a	3.1 a	7.1	1.9 ab	6.0	76.8	10.9	2.2	0.4	4.2
3	根上2-2	強度	2,300	-1,100	32.0	10.5	1.3 ab	2.4 a	8.3	2.1 a	5.9	81.6	13.6	2.9	0.4	3.1
	根上2-3	対照	2,300	-2,400	51.0	8.7	0.7 b	1.4 b	6.7	1.6 b	5.1	78.5	13.3	2.1	0.3	3.0
	金沢1	弱度	6,900	-300	4.0	6.0	0.8 b	3.2 b	5.1	1.6 b	9.2 b	88.0	19.0	1.9	0.3 b	3.3 b
4	金沢2	列状	5,100	-100	2.0	6.6	1.1 a	4.1 ab	5.6	1.9 a	10.1 ab	87.7	19.3	2.2	0.4 a	5.2 ab
	金沢3	強度	6,600	-100	9.0	6.0	1.1 a	4.4 a	5.4	2.1 a	11.0 a	92.4	22.2	1.9	0.5 a	5.6 a

の多重比較, $p < 0.05$)。また、No.4 は弱度区に比べて強度間伐区と列状間伐区で有意に成長量(率)が大きくなる傾向があった(ANOVA, $p < 0.05$, Scheffe の多重比較, $p < 0.05$)。しかし、No.1 では強度間伐区に比べて弱度間伐区の枝下高が高くなると同時に、樹高成長率が高くなる傾向がみられた(ANOVA, $p < 0.05$)。

表-3 間伐4年後の本数および材積の変化

No	場所	方法	2003年		2007年					
			本数 (本/ha)	材積 (m ³ /ha)	本数(変化・枯死率) Δ (%)	材積(変化・成長率) Δ (%)	Δ (%)	Δ (%)		
1	小松1	弱度	5,500	43.7	5,000	-500	9.1	77.1	8.4	13.8
	小松2	強度	5,000	79.3	4,100	-900	18.0	92.4	3.3	3.8
2	根上1-1	弱度	8,100	31.0	7,400	-700	8.6	68.1	9.3	18.7
	根上1-2	強度	6,500	31.5	5,900	-600	9.2	65.8	8.6	17.6
	根上1-3	対照	9,500	40.6	8,500	-1,000	10.5	91.4	12.7	19.2
3	根上2-1	弱度	3,400	52.0	1,900	-1,500	44.1	58.6	1.7	3.0
	根上2-2	強度	3,400	79.5	2,300	-1,100	32.4	99.6	5.0	5.6
	根上2-3	対照	4,700	85.6	2,300	-2,400	51.1	62.4	-5.8	-7.8
4	金沢1	弱度	7,200	38.5	6,900	-300	4.2	70.1	7.9	14.5
	金沢2	列状	5,200	32.0	5,100	-100	1.9	66.4	8.6	17.5
	金沢3	強度	6,700	38.7	6,600	-100	1.5	85.9	11.8	18.9

※No.1と3は、松枯れによる本数減少も計算に入れている

分材積成長量は 5.0~12.7m³/年で成長率 14.5~19.2%であった。

図-7は、本数と材積の関係を間伐前後から4年間の推移として密度管理図上で示している。松枯れによる本数減少がみられた No.1 と 3 を除けば、間伐によって収量比数 0.6 以下に下がった林分も4年間でほとんど 0.6 を超えていた。

IV 考察

1 地位指数と密度管理

石川県では、明治時代にクロマツの経済林を対象とした収穫表(佐藤, 1962)が作成されている。今回作成した地位指数曲線(図-1)をこれと比較すると、地位により若干異なるが40年生時までは高めになるのに対し、それ以降は逆に低くなる傾向があった。これは、山地と海岸での違いを反映した結果かもしれない。当初、海岸の砂質土壌では場所により生産力は変わらないと考えていたが、地位の上限と下限では 12mの差がみられた(図-1)。海岸で

2) 形状比の変化

間伐直後の形状比は 60~71 であった(表-1)が、間伐強度に関係なくどの林分でも4年後には76以上に変化していた(表-2)。形状比の変化で有意に差がみられたのは、No.1のみで弱度間伐区で高くなった。図-6は、No.2と4における間伐強度別の胸高直径と形状比の関係を4年間で比較して示している。間伐強度または林分に関係なく、小さな直径ほど形状比が高くなる傾向があった。間伐4年後の2007年にはほとんどの立木が70以上の形状比に変化していた。

3) 本数および材積の変化

表-3は、間伐4年間での林分の本数および材積を比較して示している。No.1の強度間伐区およびNo.3は、自然枯死よりも松枯れによる枯死が多かった。No.3の対照区は松枯れにより大きく本数を減らしたため2007年の材積は間伐直後よりも少なくなった。それらを除けば、本数枯死率は10%以下、林

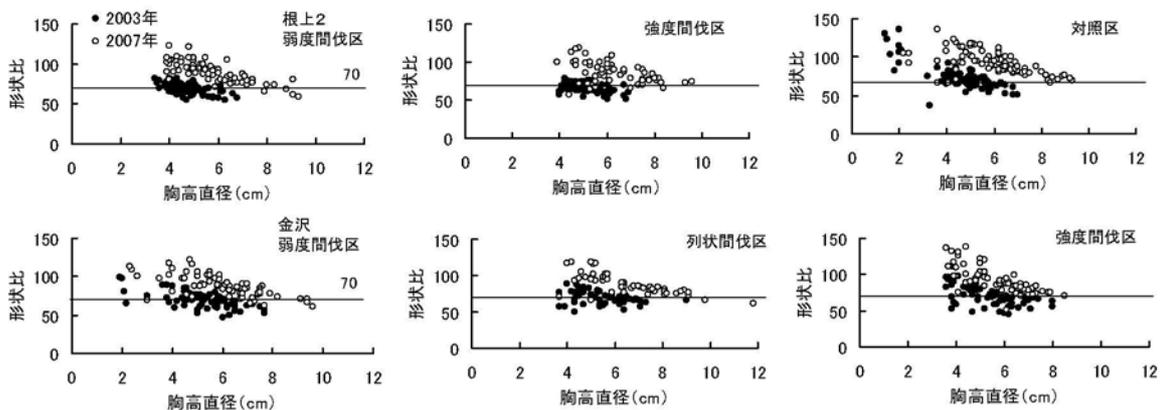


図-6 間伐4年後の胸高直径と形状比の関係の変化

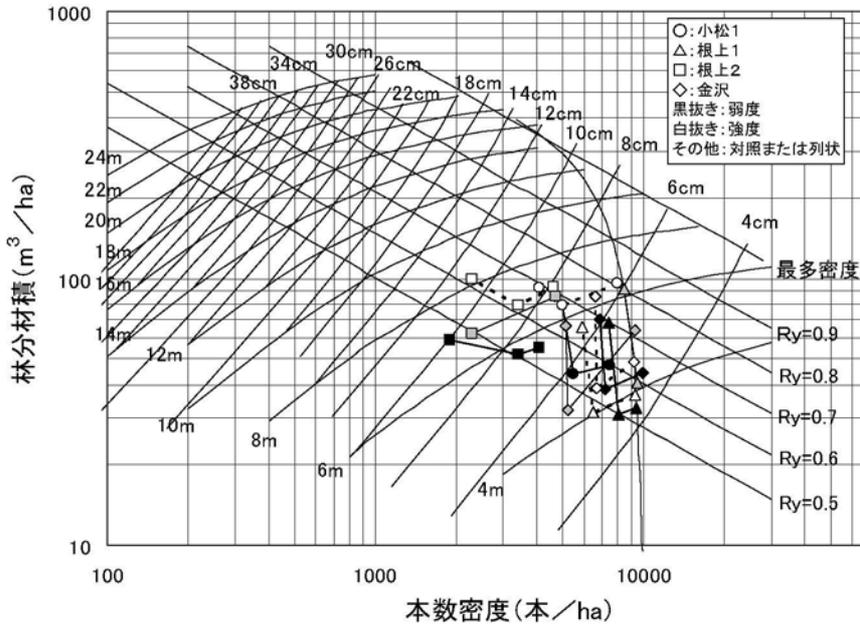


図-7 間伐前後および4年後の本数と材積の関係の推移

は、前線部と後背林など土壌条件よりも微地形で生育に大きな違いが生じるのかもしれない。したがって、これまでの針葉樹人工林同様、林齢ではなく生育状況に応じて密度調整が可能な密度管理図の利用が必要と考えられる。

2 管理指標と目標形状

全国のアカマツ林の密度管理図を用いて密度管理の指標として収量比数を検討したところ、平均形状比または平均枝下高率と正の相関関係を示した。実態調査結果からみると、形状比70で維持するためには収量比数0.6以下で、形状比75で維持するためには収量比数0.7以下で管理する必要があることが示唆された。しかしながら、ばらつきがみられることから現状を十分に把握した上で管理基準を選択することが望ましいと考えられる。

秋田県の海岸クロマツ林での雪害調査結果(金子ら、2000)から、形状比は80を上限として70を目標とすることが提唱されている。また、坂本ら(2007)は、形状比を70以下に管理する間伐の基準として林冠高(樹高よりも0.5m高い)を用いての3残1伐の列状間伐を提唱している。これによると、1~4回目で、それぞれ3mで7,500本/ha、3.5mで5,000本/ha、4.5mで3,750本/ha、5.5mで2,500本/haとしている。これを収量比数に換算するとそれぞれ0.36、0.34、0.41、0.42となり、初期からかなり強度に間伐して管理しなければ目標の形状比を

維持できないようである。これまで石川県ではほとんどの林分が収量比数0.5以上で管理され、中には0.7以上の林分も多くみられることから(図-2)、確実に形状比を下げるためには初期から積極的に間伐を進める必要があると考えられる。

3 間伐による成長・形状比・枝下高率の変化

間伐強度の違いによる成長・形状比・枝下高率への影響は、林分によって異なった(表-3)。必ずしも、間伐強度が高いほど成長が促進され、形状比や枝下高率が抑えられるとい

う結果は示されなかった。中には材積で50%近い間伐率の林分もあったにもかかわらず、4年間では試験地内で大きな差はみられなかった。とくに、平均形状比は間伐前に70以下であった林分も4年後に80以上となった林分が多かった。これは、高密度状態のために優劣が付きやすく、小直径階の立木が競争に負けて形状比が高くなったためである(図-4)。このことは、初期においては強度な間伐を行ったとしても4年では間隔が長いこと示唆している。

4 間伐の方法とスケジュール

以上のことから、海岸クロマツ林の間伐方法として、密度管理図を使って形状比の高い小径木から間伐し収量比数を0.6~0.7以下で管理することを提唱したい。そのためには、樹高2mくらいで1度除伐を行なった後、樹高4mから10mまでは樹高が1.6m成長するごとに30%の本数間伐を継続する(2~3年に1回:合計6~7回)必要がある。その後は、密度や生育状況を観察しながら樹高が2.3m成長するごとに30%程度間伐する。また、初期4回目までは3残1伐の列状間伐を提唱したい。3残1伐では、1回目と3回目が25%で2回目と4回目が33.3%となる。1回目と3回目は列状に間伐した後、残存列の被圧木も合わせて間伐率が30%になるように選木することが望ましいと考えられる。また、その際になるべく直径成長を維持するために生枝打ちは行わないことも提唱したい。列状間伐であれば伐採

列の光環境がかなり改善されるので枝の枯れ上がりを抑制する効果あると考えられる。

おわりに

1 ha 当たり 1 万本に成立したクロマツ林の維持管理にはかなりのコストがかかると考えられる。今後は、植栽本数を減らした場合の管理方法も検討したい。

引用文献

- 安藤 貴 (1968) 同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林業試験場研報 210 : 1 - 153.
- 金子智紀・石田秀雄・金澤正和 (2000) 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 5 : 91 - 100.
- 日本林業技術協会 (1999) 日本海地方アカマツ林分密度管理図. (監修 林野庁. 人工林林分密度管理図).
- 日本林業調査会 (1970) アカマツ (山陰)・クロマツ (山陰)・その他針葉樹. (林野庁計画課編 立木幹材積表 - 西日本編 -, 319pp). 62.
- 小田隆則 (1992) 保育・密度管理・更新技術. (日本の海岸林 - 多面的な環境機能とその活用 -, 村井 宏ほか編, ソフトサイエンス社, 513pp, 東京). 395 - 408.
- 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 : 1 - 6.
- 佐藤敬二 (1962) マツ林の収穫量測定と収穫予想. (日本のマツ 3, 全国林業普及協会, 226pp, 東京). 118 - 224.