

北海道演習林標茶区人工林の成長について

－アカエゾマツ固定調査区の第2回調査結果－

松下幸司・山内隆之・大窪 勝
木田政彦・柴田正善

1. はじめに

京都大学農学部附属演習林北海道演習林標茶区（北海道川上郡標茶町字多和）では1952年以降皆伐一斉造林方式でこれまで主としてカラマツ、トドマツ、アカエゾマツの造林を進めてきた。このほか、試験的に外国産樹種やヤチダモの造林も行われてきた。当初はカラマツ造林が中心であったが、その後、トドマツ、アカエゾマツへと造林樹種は変化してきた。

カラマツについてはすでに間伐の時期に入り、これまで間伐試験、立木幹材積表の調製などが進められてきたが、トドマツ・アカエゾマツについてはまだその段階に達していない。とくにアカエゾマツに関しては古い造林地がないこともあって、現行の北海道演習林長期施業計画ではトドマツの収穫表を暫定的に準用するという方法をとっている。北海道演習林ではトドマツ、アカエゾマツ、クロエゾマツについて固定調査区を設け胸高直径および樹高の測定を定期的に行い、カラマツ以外の造林樹種に関しても基礎資料の収集を行っているが、本報告ではこの一連の調査のなかで1989年に実施したアカエゾマツ固定調査区の第2回調査の結果を報告する。第2章で調査地の概要と調査方法を、第3章で調査結果を、第4章で若干の考察を加え、最後に今後の検討課題に触れる。

2. 調査地の概要と調査方法

標茶区のアカエゾマツ固定試験地は第4林班に1箇所（図-1）、第8林班に2箇所（図-2）の計3箇所設置されている。最初に、調査日程と調査の概要を述べると、第1回調査は以下の通り行われた。プロット1の調査は1983年7月28日・30日に、林学科学学生の演習林実習として北海道演習林教職員（山本俊明・北尾邦伸・岡部宏秋・菅原哲二）の指導によって行われた。プロット2とプロット3の調査は1984年7月2日に北海道演習林教職員によって行われた。また、第2回調査は、1989年11月2日にプロット2の調査が、11月8日・10日にプロット1の調査が、11月14日にプロット3の調査が、山内隆之・大窪勝・木田政彦・柴田正善・松下幸司によって行われた。調査方法は2回ともプロット内の全木について直径および樹高を測定し、造林木に識別番号を付けた。詳細はプロットにより若干異なる。以下、各プロットの概要と調査方法の詳細について述べる。

まず、第4林班のプロット1であるが、1959年地拵、1960年植栽と標茶区では最も古いアカエ

ゾマツ造林地の一つであり、すでに植栽後30年が経過している。植栽時の本数はha当り2,150本で面積0.32haなので植栽本数は688本と推定される。1962年に補植(442本)を実施している。1960年から1963年まで年1回の下刈りを実施した。1976年に2回目の補植を行い、1977年、1980年、1981年にそれぞれ1回、計3回の下刈りを実施した。その後は手を加えていない。このプロットは図-1からもわかるように、特定のプロットを設定するのではなくこの造林地全体を調査するという方法が第1回調査以来採用されており、今回もこれを継承した。また、プロットはA区、B区と2区分されており、両区分の境界には溝がある。第1回調査の際、A区については補植分まで測定したが、B区では測定しなかった。なお、第2回調査ではすべて測定した。直径は胸高直径(以下、特に断わらない限り、本報告では直径とは胸高直径を示す)を直径巻尺にて1mm単位まで測定した。樹高測定は測竿およびブルーメライス測高器を併用し、測桿の場合は1cm単位まで、ブルーメライス測高器の場合は10cm単位まで測定した。調査木に付けられていた銅板によるナンバープレートを廃し、通常のナンバーテープに変更した。また、本造林地では現在、北海道演習林で問題になっているエゾシカによる損傷が多数観察されたことから、エゾシカによる造林木損傷状態について傷の有無のみチェックした。なお、本プロットB区には欧州トウヒが1本あるが測定の対象外である。

プロット2は第8林班の1972年植栽のアカエゾマツ造林地(面積1.18ha)に設定された。まず、この造林地の施業経過を述べると、以下の通りである。1971年に地拵(筋刈)を行い、1972年に植栽した。植栽本数はha当り2,540本、植栽本数は3,000本である。1972~1977年、1979、1980年に下刈りを行った。但し、1977年のみ年2回実施し、他の年は年1回であり、下刈り回数は計9回である。1982年に除伐を行った。プロットは面積0.1haの正方形である。胸高直径は直径巻尺にて1mm単位まで、樹高は測桿を用いて1cm単位まで測定した。また、調査木には従来の銅板に代えて、ダイモテープを枝に針金で付けた。

プロット3は第8林班の1983年植栽のアカエゾマツ造林地(面積3.01ha)に設定された。施業記録は以下の通りである。1982年に全刈火入地拵を行い、1983年5月植栽、1983年以降毎年1回下刈(1985年のみ2回刈)を行った。途中、1985年にアカエゾマツの補植(500本)を行った。造林台帳の摘要欄には、「充実苗を用いれば気象害(アカエゾマツは乾燥害、トドは霜害)に耐

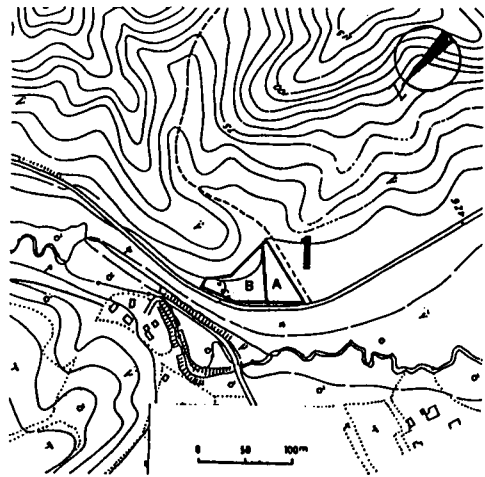


図-1 プロット位置図(標茶区第4林班)
注) 図中の番号はプロット番号

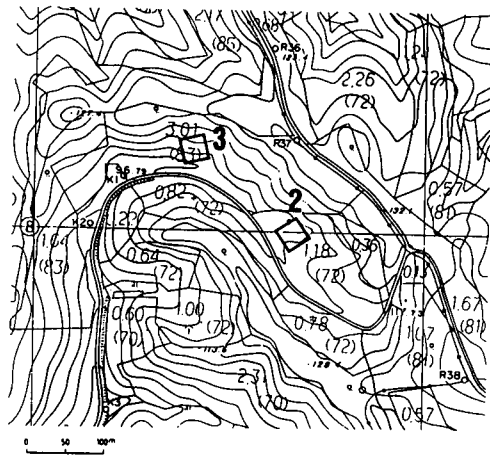


図-2 プロット位置図(標茶区第8林班)
注) 図中の番号はプロット番号
図中の縦線上方が北を示す。

えて成林するということを証明するため谷から尾根まで通して植栽した（以下略）」と記されている。プロットは面積0.1haの正方形である。まだ10年生に満たないため、調査項目は植栽の翌年に実施した第1回調査が根元直径および樹高、第2回調査が樹高のみである。根元直径は直径巻尺により1mm単位まで、樹高は測桿により第1回調査が1cm単位まで、第2回調査が10cm単位まで測定した。調査番号の付け方はプロット2と同じである。プロット2およびプロット3については調査木に先枯れを初めとする種々の損傷・欠点が多数観察されたため、可能な限りその状況を記録した。第1回調査の際は先枯れのみが記録されている。また、先枯れの場合の樹高は生きている部分の樹高と定め、同時に枯れている部分の樹高についても測定した。

3. 調査結果

2回の調査より各プロットについて直径階別本数分布、樹高階別本数分布を求めた結果が表1～5である。直径分布については考察のところで述べる。表中の歪度は度数分布の歪みの度合を示す指標で、正（負）の場合は正（負）の非対象分布と呼ばれ、左（右）に傾いた分布で、ゼロの場合が左右対象である。また、尖度は3より大（小）のときが鋭峰（鈍峰）と呼ばれ、3のときが正規分布となる。以下、各プロットの調査結果について若干補足する。

植栽後29年が経過したプロット1は補植分を除いて、平均直径は11.7cmから15.1cmへと成長した。この6年間における枯死木はなかった。補植分については表の通り分離して計上した。閉鎖した林内ではエゾシカによる被害が出ている。たとえ1箇所でも、またそれが軽微な傷であっても被害と定義すると、被害木の比率は補植分を含めた全調査木の19%に及んでいる。高柳ほか（1990）で報告されているトドマツ若齢林分における状況とよく似通っているように思われたが今回は本数のカウントしか行っていないので詳細は今後の課題である。

プロット2及びプロット3では先枯が前回、今回とも目立った。プロット2からその状況を簡単に述べる。先枯れの見られなかった生立木を健全木と呼ぶと、第2回調査の結果、健全木は168本（第1回調査時の生立木に対する比は84%）、先枯木は27本（同13%）、枯死木は6本（同3%）であった。健全木の平均直径6.9cmに対し、先枯木の平均直径は1.8cm（胸高が計測できたものは13本のみ、他の14本は胸高に達していない）であり、先枯木の最大直径は3.8cmであった。先枯れの結果、生きている部分の樹高はいずれも2m以下である。

プロット3では、第2回調査の結果、健全木が173本（第1回調査時の生立木に対する比は58%）、先枯木が54本（同18%）、枯死木が70本（24%）となった。5年間でおおよそ4分の1が枯死している。植栽の翌年の第1回調査時の根元直径を比較すると、健全木1.3cm、先枯木1.3cm、枯死木1.2cmとほとんど差がなかった。また、樹高については、健全木53cm、先枯木49cm、枯死木35cmであった。植栽時のデータがないのでわからないが、先枯その他の要因により植栽後1年にして出遅れたものの枯死率は高い。この時点での樹高が40cmに満たないものは69本あったが、うち43本が5年以内に枯死し、9本が現在先枯れ状態にあり健全なものは17本に過ぎない。第1回調査時に先枯れと判断されたものは96本と当時の生立木の32%に達していたが、その後5年間に40本が枯死、18本が依然先枯れ状態、38本は健全木へと移行しており枯死する可能性が高い。現在、50本を越える先枯れ木があるがこれらの前途も危ぶまれている。なお、第2回調査の結果、生立木の19%にあたる42本が二又状態になっており、このまま成林しても質的な期待は持てないように思われる。

表-1 プロット1の調査結果(直径階別本数分布)

直径 (cm)	1960 年植栽						1976 年補植	
	A 区・B 区計		A 区		B 区		A 区	B 区
	1983年調査	1989年調査	1983年調査	1989年調査	1983年調査	1989年調査	1989年調査	1989年調査
樹高<130cm							17(44.7)	12(13.5)
0.0~ 1.0							2(5.3)	16(18.0)
1.0~ 2.0							8(21.1)	13(14.6)
2.0~ 3.0							3(7.9)	16(18.0)
3.0~ 4.0							1(2.6)	15(16.9)
4.0~ 5.0	12(4.0)	2(0.7)	7(5.1)		5(3.1)	2(1.2)	5(13.2)	11(12.4)
5.0~ 6.0	12(4.0)	3(1.0)	6(4.3)		6(3.7)	3(1.9)	2(5.3)	6(6.7)
6.0~ 7.0	12(4.0)	9(3.0)	5(3.6)	8(5.7)	7(4.3)	1(0.6)		
7.0~ 8.0	12(4.0)	5(1.7)	4(2.9)	1(0.7)	8(4.9)	4(2.5)		
8.0~ 9.0	22(7.3)	19(6.3)	10(7.2)	10(7.1)	12(7.4)	9(5.6)		
9.0~10.0	17(5.7)	7(2.3)	7(5.1)	2(1.4)	10(6.2)	5(3.1)		
10.0~11.0	24(8.0)	11(3.6)	10(7.2)	1(0.7)	14(8.6)	10(6.2)		
11.0~12.0	30(10.0)	19(6.3)	15(10.9)	13(9.3)	15(9.3)	6(3.7)		
12.0~13.0	33(11.0)	19(6.3)	20(14.5)	6(4.3)	13(8.0)	13(8.0)		
13.0~14.0	31(10.3)	18(6.0)	17(12.3)	7(5.0)	14(8.6)	11(6.8)		
14.0~15.0	32(10.7)	18(6.0)	15(10.9)	6(4.3)	17(10.5)	12(7.4)		
15.0~16.0	31(10.3)	24(7.9)	15(10.9)	13(9.3)	16(9.9)	11(6.8)		
16.0~17.0	13(4.3)	35(11.6)	3(2.2)	21(15.0)	10(6.2)	14(8.6)		
17.0~18.0	10(3.3)	24(7.9)	1(0.7)	13(9.3)	9(5.6)	11(6.8)		
18.0~19.0	7(2.3)	24(7.9)	3(2.2)	13(9.3)	4(2.5)	11(6.8)		
19.0~20.0	1(0.3)	31(10.3)		13(9.3)	1(0.6)	18(11.1)		
20.0~21.0	1(0.3)	12(4.0)		5(3.6)	1(0.6)	7(4.3)		
21.0~22.0		13(4.3)		6(4.3)		7(4.3)		
22.0~23.0		8(2.6)		2(1.4)		6(3.7)		
23.0~24.0								
24.0~25.0								
25.0~26.0		1(0.3)				1(0.6)		
測定本数	300(100.0)	302(100.0)	138(100.0)	140(100.0)	162(100.0)	162(100.0)	38(100.0)	89(100.0)
最大値	20.00	25.60	18.00	22.70	20.00	25.60	5.70	5.90
最小値	4.00	4.50	4.00	6.20	4.00	4.50	0.70	0.20
平均	11.65	15.07	11.48	15.10	11.79	15.04	2.70	2.58
分散	12.75	18.44	11.25	17.08	13.99	19.61	2.44	2.28
標準偏差	3.57	4.29	3.35	4.13	3.74	4.43	1.56	1.51
変動係数	0.307	0.285	0.292	0.274	0.317	0.294	0.578	0.586
歪度	0.308	0.366	0.496	0.527	0.214	0.249	-0.455	-0.222
尖度	-0.619	-0.613	-0.415	-0.555	-0.798	-0.665	-1.212	-0.941

注) 括弧内は測定本数に対する比率を示す。表中の空欄は該当なしを示す。統計量は樹高が胸高を越えるものに限る。

1960年植栽 A 区では1983年調査時に調査漏れが2本あったため本数が増加している。

1976年補植 A 区での1983年調査時の樹高は何れも胸高に満たなかったため省略した。また、同 B 区は未調査である。

表-2 プロット1の調査結果(樹高階別本数分布)

樹高 (m)	1960 年植栽						1976 年補植		
	A 区・B 区計		A 区		B 区		A 区		B 区
	1983年調査	1989年調査	1983年調査	1989年調査	1983年調査	1989年調査	1983年調査	1989年調査	1989年調査
0.0～ 0.5							1(1.8)		
0.5～ 1.0							26(47.3)	4(10.5)	5(5.6)
1.0～ 1.5							14(25.5)	12(31.6)	17(19.1)
1.5～ 2.0							8(14.5)	7(18.4)	14(15.7)
2.0～ 2.5							2(3.6)	5(13.2)	13(14.6)
2.5～ 3.0	2(0.7)		2(1.4)				1(1.8)	4(10.5)	13(14.6)
3.0～ 3.5	8(2.7)		3(2.2)		5(3.1)		3(5.5)		17(19.1)
3.5～ 4.0	8(2.7)	1(0.3)	4(2.9)	1(0.7)	4(2.5)			4(10.5)	7(7.9)
4.0～ 4.5	11(3.7)	1(0.3)	5(3.6)		6(3.7)	1(0.6)		1(2.6)	3(3.4)
4.5～ 5.0	10(3.3)	3(1.0)	5(3.6)	1(0.7)	5(3.1)	2(1.2)			
5.0～ 5.5	15(5.0)	6(2.0)	7(5.1)	4(2.9)	8(4.9)	2(1.2)		1(2.6)	
5.5～ 6.0	17(5.7)	9(3.0)	6(4.3)	3(2.1)	11(6.8)	6(3.7)			
6.0～ 6.5	21(7.0)	6(2.0)	9(6.5)	3(2.1)	12(7.4)	3(1.9)			
6.5～ 7.0	30(10.0)	12(4.0)	16(11.6)	3(2.1)	14(8.6)	9(5.6)			
7.0～ 7.5	39(13.0)	6(2.0)	18(13.0)	3(2.1)	21(13.0)	3(1.9)			
7.5～ 8.0	36(12.0)	9(3.0)	20(14.5)	2(1.4)	16(9.9)	7(4.3)			
8.0～ 8.5	45(15.0)	17(5.6)	21(15.2)	9(6.4)	24(14.8)	8(4.9)			
8.5～ 9.0	29(9.7)	13(4.3)	14(10.1)	6(4.3)	15(9.3)	7(4.3)			
9.0～ 9.5	18(6.0)	21(7.0)	6(4.3)	5(3.6)	12(7.4)	16(9.9)			
9.5～10.0	9(3.0)	14(4.6)	2(1.4)	11(7.9)	7(4.3)	3(1.9)			
10.0～10.5	1(0.3)	32(10.6)		13(9.3)	1(0.6)	19(11.7)			
10.5～11.0	1(0.3)	40(13.2)		20(14.3)	1(0.6)	20(12.3)			
11.0～11.5		39(12.9)		20(14.3)		19(11.7)			
11.5～12.0		37(12.3)		16(11.4)		21(13.0)			
12.0～12.5		26(8.6)		13(9.3)		13(8.0)			
12.5～13.0		7(2.3)		5(3.6)		2(1.2)			
13.0～13.5		3(1.0)		2(1.4)		1(0.6)			
測定本数	300(100.0)	302(100.0)	138(100.0)	140(100.0)	162(100.0)	162(100.0)	55(100.0)	38(100.0)	89(100.0)
最大値	10.52	13.10	9.77	13.10	10.52	13.00	3.27	5.40	4.48
最小値	2.68	3.80	2.68	3.80	3.21	4.10	0.46	0.70	0.56
平均	7.07	9.79	7.00	9.96	7.13	9.63	1.23	1.98	2.34
分散	2.71	3.97	2.56	3.94	2.82	3.95	0.43	1.16	0.89
標準偏差	1.65	1.99	1.60	1.99	1.68	1.99	0.66	1.08	0.94
変動係数	0.233	0.204	0.229	0.199	0.235	0.206	0.533	0.544	0.403
歪度	0.596	0.865	0.729	0.986	0.510	0.777	-1.610	-1.210	-0.205
尖度	-0.301	-0.027	-0.118	0.366	-0.460	-0.302	2.078	0.973	-0.937

注) 括弧内は測定本数に対する比率を示す。表中の空欄は該当なしを示す。

1960年植栽 A 区では1983年調査時に調査漏れが2本あったため本数が増加している。

1976年補植 B 区では1983年調査が行われていない。

表-3 プロット2の調査結果
(直径階別本数分布)

直径 (cm)	1984年調査	1989年調査
樹高<130cm	53(26.4)	27(13.8)
0.0~ 1.0	8(4.0)	10(5.1)
1.0~ 2.0	21(10.4)	16(8.2)
2.0~ 3.0	23(11.4)	12(6.2)
3.0~ 4.0	30(14.9)	9(4.6)
4.0~ 5.0	35(17.4)	8(4.1)
5.0~ 6.0	22(10.9)	9(4.6)
6.0~ 7.0	7(3.5)	15(7.7)
7.0~ 8.0	1(0.5)	19(9.7)
8.0~ 9.0		25(12.8)
9.0~10.0		19(9.7)
10.0~11.0	1(0.5)	13(6.7)
11.0~12.0		9(4.6)
12.0~13.0		2(1.0)
13.0~14.0		1(0.5)
14.0~15.0		
15.0~16.0		1(0.5)
測定本数	201(100.0)	195(100.0)
最大値	10.00	15.60
最小値	0.60	0.20
平均	3.60	6.48
分散	2.72	11.91
標準偏差	1.65	3.45
変動係数	0.457	0.532
歪度	- 0.286	0.213
尖度	0.244	- 0.913

注) 括弧内は測定本数に対する比率を示す。

表中の空欄は該当なしを示す。

統計量は樹高が胸高を越えるものに限る。

表-4 プロット2の調査結果
(樹高階別本数分布)

樹高 (m)	1984年調査	1989年調査
0.0~0.5	14(7.0)	
0.5~1.0	49(24.4)	24(12.3)
1.0~1.5	5(2.5)	18(9.2)
1.5~2.0	12(6.0)	13(6.7)
2.0~2.5	18(9.0)	8(4.1)
2.5~3.0	29(14.4)	5(2.6)
3.0~3.5	23(11.4)	9(4.6)
3.5~4.0	32(15.9)	15(7.7)
4.0~4.5	15(7.5)	10(5.1)
4.5~5.0	3(1.5)	18(9.2)
5.0~5.5	1(0.5)	22(11.3)
5.5~6.0		24(12.3)
6.0~6.5		21(10.8)
6.5~7.0		5(2.6)
7.0~7.5		2(1.0)
7.5~8.0		1(0.5)
測定本数	201(100.0)	195(100.0)
最大値	5.28	7.81
最小値	0.36	0.59
平均	2.32	3.84
分散	1.78	3.94
標準偏差	1.34	1.98
変動係数	0.575	0.517
歪度	0.059	0.241
尖度	-1.360	-1.338

注) 括弧内は測定本数に対する比率を示す。

表中の空欄は該当なしを示す。

4. 考 察

(1) 平均直径と平均樹高

現行の北海道演習林長期施業計画では道東地方におけるアカエゾマツの収穫表がなかったためトドマツの収穫表が保続計算上適用されてきた。道有林厚岸経営区のトドマツ収穫予想表の地位Ⅱと地位Ⅲとを平均調整したものを北海道演習林アカエゾマツ収穫予想表とみなしている。上記の結果と、適用している収穫表の諸数値を比較検討してみよう。なお、データ数が少なすぎるので参考指標として、1989年度に実施された森林実態調査のなかからもデータを採用する。表-6の4箇所が森林実態調査においてアカエゾマツの平均直径および平均樹高が記入されている場所である(他にもう1箇所あるが、これはプロット1と全く同じ場所なので省略)。これら4箇所とプロット1、プロット2の2回の調査結果についてその平均直径、平均樹高、本数を収穫予想表の定める値と比較してみよう。

平均直径について検討したものが図-3である。プロット1はⅡ等地をやや上回る数値を推移し、プロット2についてはまだ20年生に満たないものの、やはりⅡ等地並みに推移している。生立木の14%を占める先枯木がいずれ枯死するものとして計算から除外するとⅡ等地をやや上回る

表-5 プロット3の調査結果
(樹高階別本数分布)

樹高 (m)	1984年調査	1989年調査
0.0~0.2	16(5.4)	2(0.9)
0.2~0.4	53(17.8)	5(2.2)
0.4~0.6	166(55.9)	35(15.4)
0.6~0.8	62(20.9)	19(8.4)
0.8~1.0		8(3.5)
1.0~1.2		31(13.7)
1.2~1.4		39(17.2)
1.4~1.6		43(18.9)
1.6~1.8		26(11.5)
1.8~2.0		15(6.6)
2.0~2.2		4(1.8)
測定本数	297(100.0)	227(100.0)
最大値	0.78	2.00
最小値	0.10	0.10
平均	0.48	1.13
分散	0.02	0.22
標準偏差	0.14	0.47
変動係数	0.294	0.414
歪度	0.623	0.300
尖度	-0.004	-0.961

注) 括弧内は測定本数に対する比率を示す。
表中の空欄は該当なしを示す。

程度であり、2プロットとも大差ない水準である。他の参考プロットは図のA点、B点がⅠ等地並みながら、C点がⅡ、Ⅲ等地の中間、D点がⅢ等地とばらばらな結果となっている。データ数が少なすぎるが北海道演習林の暫定収穫表の平均直径は概ね下限を提供していると考えられる。

平均樹高を検討すると図-4の通りとなった。プロット1についてはⅡ、Ⅲ等地の中間からⅡ等地並みへと上方に推移した。またプロット2についてはまだ20年に満たないものの、Ⅲ等地並みの水準である。直径に比べるとばらつきが大きいものの、現行の暫定曲線はほぼ妥当のように思われる。しかしながら、直径のように下限を提供するものとは言いがたい。

ところで、収穫予想表はあくまでも標準的な施業に対して設定されるものであり、こうした直径、樹高と裏腹の関係にあるのが本数の推移である。本数に関して同様の分析を行った結果が図-5である。Ⅲ等地以上に本数が残っている場所が2箇所あるものの、何れも面積が表-6に示す通り小さい。他はすべてⅠ等地以上に

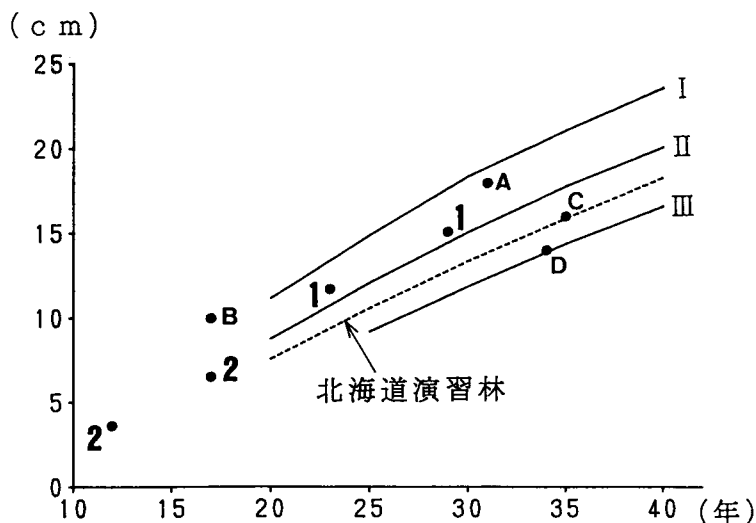


図-3 林齢と平均直径の関係

資料) 道有林厚岸経営区トドマツ収穫予想表

北海道演習林については山田ほか(1988)表-1より。

注) 図中の数字はプロット番号, アルファベット記号はプロット以外のデータで表-6を参照。
ローマ数字は地位級を示す。プロット1およびプロット2については2回分の調査結果を掲載している。

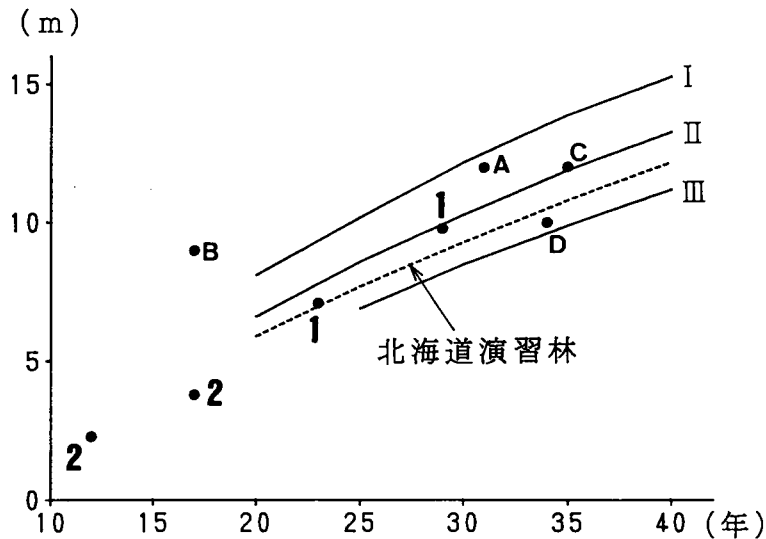


図-4 林齢と平均樹高の関係
資料及び注) 図-3 と同じ。

表-6 アカエゾマツの平均直径と平均樹高 (1989年)

林小班番号	図中記号	植栽年度	本数(本/ha)	面積(ha)	平均直径(cm)	平均樹高(m)
2 に ¹⁾	A	1958	1,630	0.03	18.0	12.0
8 そ ²⁾	B	1972	1,600	1.18	10.0	9.0
11 は ²⁾	C	1954	2,200	0.05	16.0	12.0
11 に ^{2,3)}	D	1955	640	—	14.0	10.0
プロット 1	1	1960	940	0.32	15.1	9.8
プロット 2 ⁴⁾	2	1972	1,950	0.10	6.5	3.8
プロット 3	なし	1983	2,270	0.10	—	1.1

注 1) 1989年度森林実態調査による。標準地調査法による。

2) 1989年度森林実態調査による。最大・最小、平均的なものをそれぞれ数本選び調査した結果による。

3) アカエゾマツのみの面積は不詳。

4) 表の上から2番目にある第8林班小班内に設置されたプロットである。

本数が減少している。プロット1, プロット2の現況はともにⅠ等地よりやや少な目といった程度である。暫定収穫表によると林齢30年の時点での本数は1,425本となっているが、プロット1の現況はその大体3分の2の水準である。近年、標茶区アカエゾマツ造林地では幼齢期に極端に本数減少が進んでいる場所が散見される。特に1986年から1988年にかけて植栽されたアカエゾマツはいずれも枯死が著しく、現在ではほとんど残っていない部分が生まれている。プロット3はそれに比べると残存率が高いが、こうした初期の枯死傾向を示している造林地の一つといえる。以上、総合的に検討すると、直径、樹高については暫定収穫表は適用可能なるものの、本数が相当少なく、こうした状況が続くのであれば材積計算上はさらに地位を一段落とす必要がある。

(2) 直径分布

直径分布は林分構造を端的に示す最も簡単な指標として重要である。植栽後まだ10年に満たないプロット3を除いた2つのプロットについて、2回の調査結果から明らかになったアカエゾマ

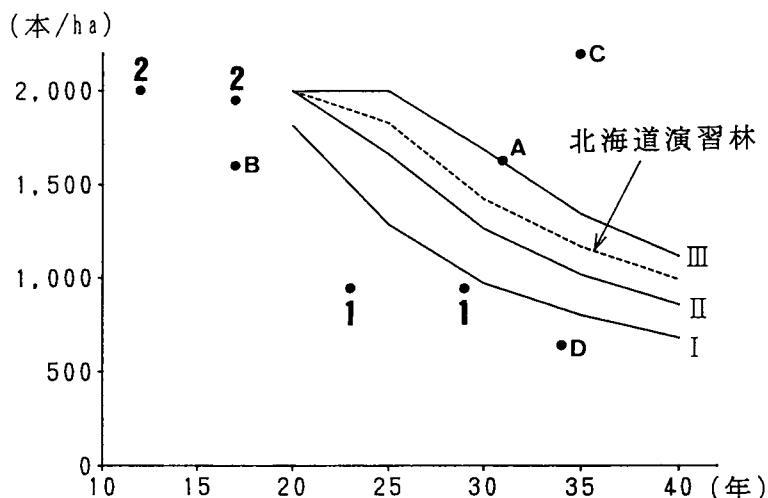


図-5 林齢と本数の関係
資料及び注) 図-3と同じ。

ツの直径分布を検討しておこう。比較検討のため、条件の違う2箇所を1枚の図に記した結果が図-6である。プロット1については補植分を除いたA区・B区合計値である。

まず、プロット2においては直径が2 cm未満（樹高が胸高に達しないものを含む）の比率がいつまでも高い点が注目される。植栽後17年が経過しても、この比率が高く分布は一山分布をなさない。ところで、12年生から17年生に至る期間中の直径階の移動状態を見ると、進級木が155本、現級に留まったものが45本、下がったものが2本であった。これら進級しなかったものはいずれも4 cm未満のものであった。また、全調査木195本の14%に当たる27本に先枯れ現象を観察したが、直径が2 cm未満のものが21本、同2～4 cmのものが6本、4 cm以上のものには1本も見られなかった。つまり、直径4 cm以上のものについては一応成長軌道に乗ったものの、それ未満のものは先枯れその他により減少過程にある。従って、17年生の直径分布はこうした初期の分布と、一山型の成長過程にある分布の合成の産物と考えられる。

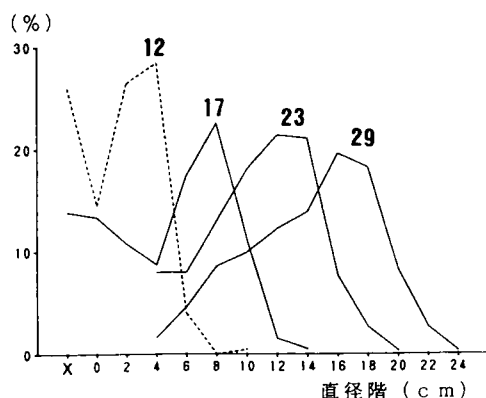


図-6 直径分布（プロット1，プロット2）

注) 図中の数字は林齢で、左の2つの分布がプロット2，右の2つの分布がプロット1である。直径階Xは樹高が胸高に満たないものをさす。

プロット1の直径分布であるが、23年生時と29年生時とを比較すると、ピークが右方向に移動し、一方成長に伴いその速度の差からレンジは広がり、その結果ピーク時の相対本数も低下するという、人工林一般に見られる傾向を示している。しかし、どちらの分布も左側に大きく偏っているのが特徴である。一般的に、単一樹種の一斉造林ではこうした分布の左側の部分は被圧木として減少し、除々に正規分布のようなバランスある分布となり、さらに除間伐という人為が加わってむしろ右側に偏った分布へと推移する。ところで、こうした一連の直径分布の変化を統一的に示す道具として近年、直径分布にワイブル分布を適用する研究が多い。1973年、

Bailey らにより使用され、日本では木梨・西沢・柿原・長らによって多くの研究が進んだ。ワイブル分布は、

$$f(x) = (c/b) \{(x-a)/b\}^{c-1} \exp[-\{(x-a)/b\}^c]$$

a: 位置のパラメーター, b: 尺度のパラメーター, c: 形のパラメーター

と示される確率密度関数である。以下、アカエゾマツにワイブル分布を適用した結果について簡単に述べておこう。ワイブル分布の特徴と直径分布への応用の利点は柿原 (1982) によって、以下の4点にまとめられている。第1にワイブル分布のパラメーターは3つのパラメーターで分布の型を知ることができる点である。特に形のパラメーターcが重要で、 $c < 1$ では図-6の単調減少関数を、 $c = 1$ の場合は指数関数を、 $c > 1$ では一山分布をなす。 $c = 3.6$ が正規分布に近いとされる。第2は、パラメーターのみで分布型を知ることができる結果、大量のデータを扱うことが可能な点である。第3は、計算の容易性。第4は、パラメーターの予測ができれば直径分布の予測、直径分布を示した収穫表の調製が可能となる点である。これまで、様々な応用が見られ、北海道においてもカラマツ、トドマツについて検討されてきた。

最も簡単なモーメント法を用いて計算した結果が、以下に掲げる図-7～9のである。各図とも $c > 1$ のため一山型の分布となった。まず、プロット1から検討していこう。直径階4 cmのものが比較的多く残っていたので最低直径としては2 cmを与えて計算を行ったところ、図-7 (1983年)、図-8 (1989年) の通りとなった。何れも $c > 3.6$ であり、分布の偏りという点では左に偏った分布を得ることが出来なかった。どちらもピークが実際よりも左に寄っている。しかしながら、第1次近似としては有効のように思われる。こうした分布を規定する各種パラメーターの値からある程度将来の予想も可能となる。

プロット2について検討した結果が図-9である。ところで、ワイブル分布の定義域は正に限られている。真壁 (1987) によると、このことが部品寿命などのようなマイナスの値を取らない変量の分析に当てはまるとしてこの分布関数の利用が提唱された。胸高直径に達しないものを直径階0に含めるかどうかであるが、いま含めないものとして1984年時点でのワイブル分布を求めたのが図中の曲線Aである。次に1989年時での分布について所与のデータから機械的に算定した結果が曲線Bである (但し最低直径はゼロとした)。直径分布の最初のところで述べたように、プロット2ではすでに成長過程に入ったものと、まだ胸高以下のものを含め低位に留まっている2つのグループが混在しているが、計算から求められた機械的な曲線は両者の中間を取っており、これはどちらのグループをも代表していない。先に述べた結果より、直径4 cmが先枯が起こるか

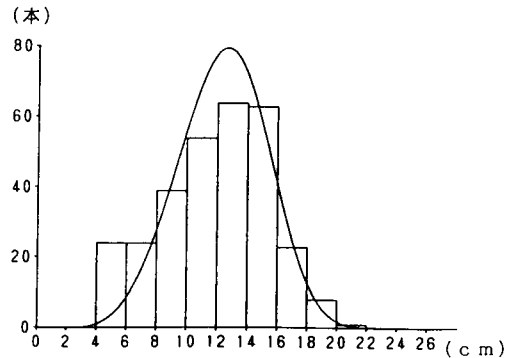


図-7 直径分布とワイブル分布 (プロット1, 1983年)

注) パラメーターは $a=2.0$, $b=11.5$, $c=4.0$ である。

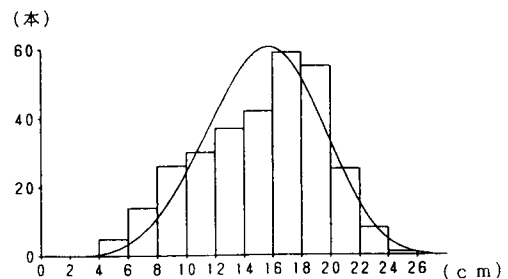


図-8 直径分布とワイブル分布 (プロット1, 1989年)

注) パラメーターは $a=2.0$, $b=14.8$, $c=3.9$ である。

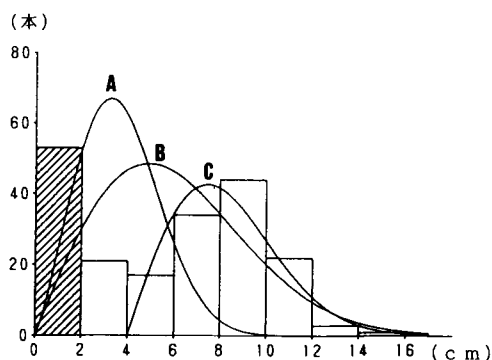


図-9 直径分布とワイブル分布（プロット2，1989年）

注）ヒストグラムは1989年分布を示す。
ワイブル分布とそのパラメーターは以下の通り。

- A：1984年の直径分布（ $a=0$,
 $b=4.2$, $c=2.3$ ）
- B：1989年の直径分布（ $a=0$,
 $b=6.9$, $c=2.0$ ）
- C：1989年の直径分布（ $a=4.0$,
 $b=4.9$, $c=2.0$ ）

否かの境になるものと考え、最低直径として4 cmを与えたところ曲線Cが得られ、結構よく近似している。直径がこれ以下の場合はこの分布関数を適用するのは難しいと思われる。図の斜線部分であるが、これは前回胸高に達していなかった調査木が多数を占めており、こうした外部からの参入とでもいうような部分を表現するのは難しい。ただ、こうしたいつまでも成長できない（あるいは遅れて成長していく）グループは別のワイブル分布を持っていて、これを f_1 とする。通常の成長過程にあるものの直径のワイブル分布を f_2 とすると、両者を適当に線形結合した

$$f(x) = pf_1(x) + (1-p)f_2(x), \quad p > 0$$

なる混合ワイブル分布が実際に観察される分布ということになる。このように考えると、さきに検討を加えたプロット1の場合も、もっと右側部分を中心とするワイブル分布 f_2 と直径階

4～8 cm位からなるワイブル分布 f_1 の混合とみなすことも可能かも知れない（註1）。

5. お わ り に

以上、1989年に実施した標茶区アカエゾマツ固定試験地の第2回調査結果を提示し、若干の考察を加えた。考察の結果、現行の暫定収穫表は現状においては樹高、直径についてはほぼ妥当と思われるのに対し、本数は明らかに少ない。古い造林地がないので何とも言えないが、本数だけが少なく、直径・樹高のみⅡ、Ⅲ等地並みという状況が続くのであれば今後収穫予想量を相当下方修正する必要がある。もっとも調査もまだ2回を数えるのみで、いま始まったばかりといってもよい状態である。今後、確実にデータを蓄積し、より現実的な数値を発見していくよう努める必要がある。また、本稿ではほとんど議論することが出来なかったが、山田ほか（1988）が提示した北海道演習林におけるトドマツ・アカエゾマツの成林率の低さがこの本数問題と大きな関わりをもった問題である。成林率調査のような大域的調査と並行して、1986年から1988年にかけてのアカエゾマツ造林地が現在ではほとんど全滅に近い状況になった原因など個別の状況の追跡も行っていく必要がある。

また、直径分布にワイブル分布を適用し若干の検討を行った。北海道演習林において他に比較する分布データがないのではっきりいえないが、プロット1の結果からみる限り、ある程度実用に耐えるように思われる。標茶区アカエゾマツ人工林は現在37haあり、標茶区人工林に占める割合も現状では約10%と小さいものの、トドマツとともにカラマツ造林中止後の主要造林樹種である。現行長期計画ではトドマツ・アカエゾマツの生産目標を伐期75～85年の一般用材、伐期100～120年の大径材にしている。いずれ間伐期を迎える前にある程度直径分布の現況、そして間伐による誘導方式について検討を進めておく必要があろう。また、どのような直径分布の林分

ができるかという情報は収穫表による単なる平均直径とは別の意味で有用である。直径分布は最も手軽に測定できるデータであり、単に分布を知るだけなら適当なプロットを間縄で作り、メモに直径階別本数をカウントするだけですむ。その意味で、直径分布に関する資料を今後充実させていく必要があるように思われる。

註

- 1) ワイブル分布は信頼性工学と呼ばれる分野でよく用いられる道具であるが、ここでは機械その他の寿命分布問題と深い関係をもって議論されてきた。真壁(1987)によると、寿命分布にワイブル分布を用いる利点としては、形状母数(林学分野でいうところの c 、一般工学分野では普通 m を用いる)が故障率関数、故障原因と関連付けて説明できることをあげている。システム一般は、稼働直後は欠陥その他の要因により初期故障が発生し易い、しかしこうした初期故障は時間の経過とともに低下し、しばらくの間は余り故障しない最も有効に使用できる期間がある。この時期の故障は偶発的な故障に限られる。しかし、ある時期を越えると今度は再び故障が多発する傾向を見せこれを摩耗故障と呼んでいる。このように時間の経過に従って故障は初期故障→偶発故障→摩耗故障と推移し、故障率ははじめ減少、ついで平らな部分があり、そしてまた上昇する(バスタブ曲線あるいは船底型曲線という)。ワイブル分布関数の前半部分が故障率関数に相当し、 c の値が1未満の場合が初期故障、1のときが偶発故障、1を越える場合が摩耗故障に相当するとしている。また、式の後半は信頼度に相当する。ワイブルの提案した最弱リンクモデルとは、リンクからなる鎖に一定の力を加えた場合は最も弱いリンクが壊れるか否かにかかっているという視点からなる信頼度を定義したが、これがワイブル分布の後半の指数関数部分である。以上概略のみ述べたが、こうしてワイブル分布は故障率関数と信頼度の積として寿命分布を示すという理論構成になっており、それぞれが一応故障と関連付けて説明可能なところに特色を持っている。アカエゾマツの初期の異常減少、先枯れは機械でいうところの初期故障と共通する側面を持っている。機械でいえば初めて作動させる場合の様々なトラブルであり、こうした問題は時間の経過とともに出尽くしてしまう。先枯れにしても一定以上の直径に達すればあとは問題はないようだ。一方、理論的にどう故障率と対応関係にあるのかまだ解明されていないが、成長過程にある林分に関してはこれまでの他の研究が示しているようにワイブル分布の適用状況は比較的良好のようである。こうしてみると初期減少、エゾシカ等による偶発的被害、成林後の成長などをこの関数である程度統一的に扱うことができるかも知れないが、それは今後の課題である。

引用文献

- 1) 赤井龍男・山田容三ほか：京都大学農学部附属演習林北海道演習林長期施業計画。第一次計画期間(1987～1996)，1989
- 2) 大畠誠一・竹内典之・北尾邦伸・和田茂彦：標茶区に造成された人工林の諸問題。京大演集報。15。136～143，1982
- 3) 高柳敦・山内隆之・柴田正善・松下幸司：北海道標茶区人工林におけるエゾシカ害の状況とその防護法(Ⅲ)－30年生前後のトドマツ人工林における被害の状況－。京大演集報。20。10～18，1990
- 4) 大畠誠一・竹内典之・和田茂彦：道東地方の広葉樹林の種構造とその特徴(トドマツ・アカエゾマツ林の造成のために)。京大演集報。15。43～53，1982
- 5) 北海道林業改良普及協会：北海道主要造林樹種収穫表と成長量に関する資料。第Ⅰ編。p.37，1976

- 6) 大隅眞一：森林計測学講義. 252～255, 養賢堂. 東京. 1989
- 7) 真壁肇：信頼性データの解析. 岩波書店. 東京, 1987
- 8) 柿原道喜：ワイブル分布とその応用. 林業統計研究会誌. 7. 37～43, 1982
- 9) 山田容三・山内隆之・大窪勝・木田政彦・古本浩望・渡辺康弘・石原寛一・赤井龍男：北海道演習林におけるトドマツ・アカエゾマツ人工造林地の成林率について（予報）. 京大演集報. 18. 37～42, 1988
- 10) 大畠誠一・竹内典之・北尾邦伸・和田茂彦：標茶区に造成された人工林の諸問題. 京大演集報. 15. 136～143, 1982