

## 第5章 その他

### 1 スギ林分収穫表の調製

#### (1) はじめに

特定の樹種について、成長条件が同一の地方において、同齢単純林により同様の方法で施業された林分のha当たり本数や材積、成長量等を、主林木・副林木別や林齢ごとに表示した表を林分収穫表といい、通常は地位別に作成されている。

主な用途は、林分の将来の成長量や収穫量の予測であり、これらをもとに施業方法や経営計画の決定、地位の判定等に利用される。

林分収穫表の例を図5-1に示す。

林 齢	地位											
	主林木				副林木		主副林木合計					
	平均 樹高	平均 胸高 直径	本数	幹材積	本数	幹材積	平均 胸高 直径	本数	胸高 断面積	幹材積	総収 穫量	
年	m	cm	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	cm	本/ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	

図5-1 林分収穫表の例

また、現実林分の簡易な林分収穫表を収穫予想表という。収穫予想表の例を図-8に示す。

地 位	林 齢	平均 樹高 (m)	平均胸 高直径 (cm)	ha当たり		要間伐		成長量			成長率 (%)
				本数 (本)	幹材積 (m <sup>3</sup> )	材積 (m <sup>3</sup> )	本数 (本)	連年 (m <sup>3</sup> )	総 (m <sup>3</sup> )	平均 (m <sup>3</sup> )	

図5-2 収穫予想表の例

現在本県で用いられている林分収穫表は、スギについては昭和56年に<sup>1)</sup>、またヒノキについては昭和58年に<sup>2)</sup> 調製（整え作ること。）されたものである。

本県は成長が早いという地域特性を活かした短伐期施業が主体であったため、これらの林分収穫表で示している伐期齢は、スギでは28～60年、ヒノキでは40～80年と、現在の長伐期施業に対応していない。

また、これらの林分収穫表の多くは、解析の中で徒手法が使用されたため、不明点が見られる。

よって、今回の調製では、最新のデータを利用することにより、120年生まで対応を可能とするとともに、すべてに統計的解析を利用し、併せてその方法を明らかにすることとした。

## (2) 林分収穫表の調製

林業技術センターの試験研究及び環境森林課の調査業務で得られた、県内全域の林分調査データ470件を用い、以下の手順により調整を行った<sup>3)</sup>。

① 上層樹高 ( $H_t$ )

上位樹高の10%の平均値を $H_t$ とした。林齢 ( $t$ ) ごとの $H_t$ の分布については、図5-3に示すとおりである。

また、成長関数についても検討を行い、最も当てはめのよかったMitscherlich関数により $H_t$ を算出し、(1)式を得た。

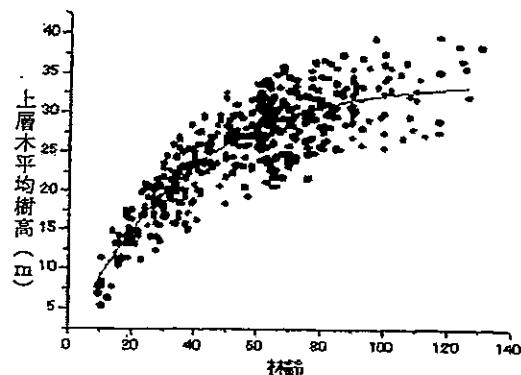


図5-3 林齢ごとの上層樹高の分布

$$H_t = 34.09879 \times (1 - \exp(0.00606 - 0.0284 \times t)) \quad r^2 = 0.75252 \quad (1)$$

## ② 地位区分

各林分の $H_t$ と(1)式で得られた算出値の差を求め、齢級ごとの標準誤差 ( $H_\sigma$ ) を算出したのち、 $H_\sigma$ をMitscherlich関数に当てはめ、(2)式を得た。

$$H_\sigma = 3.50824 \times (1 - \exp(-0.37305 - 0.04129 \times t)) \quad r^2 = 0.4517 \quad (2)$$

さらに、(1)式で求めた中心線から $H_\sigma$ の $\pm 2$ 倍を上界・下界とし、その中を3等分することにより地位を決定した。

なお、 $H \pm 2H_\sigma$ の範囲から外れた16件のデータについては、以後の調整から除外した。

## ③ 資料の吟味

以下について資料の吟味を行い、93件のデータを除外した。

- 主林木胸高直径に対するha当たり主林木本数
- 林齢に対する主林木平均直径
- 林齢に対する断面積合計
- 林齢に対するha当たり幹材積
- 林齢に対するha当たり主林木本数

## ④ 主林木の構成数値の決定

主林木の平均樹高 ( $H$ ) については、 $H_t$ との関係を求めた結果、(3)式を得た。

$$H = 0.922833 \times H_t - 0.75442 \quad r^2 = 0.9591 \quad (3)$$

ここで、既知の $H_t$ を(3)式に代入し、 $t$ ごとの $H$ を表5-1のとおり算出した。このことから、40年生次の $H$ は以下のとおり算出される。

- 地位 I : 24.3m
- 地位 II : 20.5m
- 地位 III : 16.8m

また、以上の手法で得た地位指数曲線を図5-4に示す。

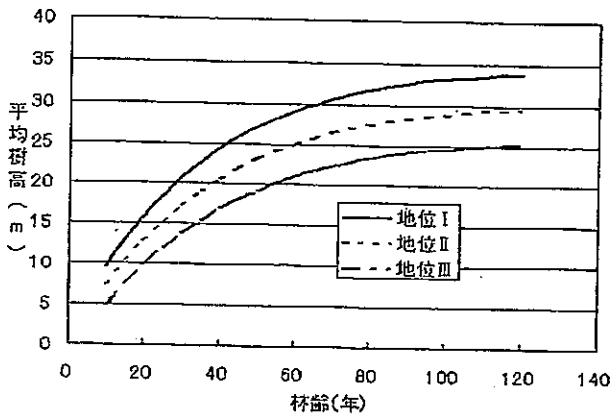


図5-4 地位指数曲線

表5-1 地位別平均樹高

林齢	地位 I	地位 II	地位 III	備考
10	9.5	7.2	4.7	
15	12.8	10.1	7.4	
20	15.7	12.7	9.7	
25	18.3	15.0	11.8	
30	20.6	17.1	13.7	
35	22.5	18.9	15.3	
40	24.3	20.5	16.8	
45	25.8	21.9	18.0	
50	27.1	23.1	19.1	
55	28.2	24.1	20.1	
60	29.1	25.0	20.9	
65	29.9	25.8	21.7	
70	30.6	26.5	22.3	
75	31.2	27.0	22.8	
80	31.7	27.5	23.3	
85	32.2	27.9	23.7	
90	32.5	28.3	24.0	
95	32.9	28.6	24.3	
100	33.1	28.8	24.6	
105	33.3	29.1	24.8	
110	33.5	29.3	25.0	
115	33.7	29.4	25.1	
120	33.8	29.5	25.3	

$H$ と主林木の平均直径( $D$ )の関係について、地位ごとにべき乗式 $H = a \times D^b$ に当てはめ、(4)~(6)式を得たのち、 $D = (H/a)^{1/b}$ で $D$ を算出した。

地位 I  $H = 2.48171 \times D^{0.641181} \quad r^2 = 0.8434 \quad (4)$

地位 II  $H = 2.072564 \times D^{0.67765} \quad r^2 = 0.8184 \quad (5)$

地位 III  $H = 1.581376 \times D^{0.719916} \quad r^2 = 0.8476 \quad (6)$

主林木の単木平均材積( $v$ )については、 $D$ との相関が高く、また $H$ との相関も見られることから、 $v = a \times D^b \times H^c$ を用いて行った結果、(7)式を得た。

$v = 0.000106 \times D^{1.67038} \times H^{0.985} \quad r^2 = 0.9962 \quad (7)$

このことから、40年生次の $v$ は以下のとおり算出される。

地位 I :  $0.934m^3$

地位 II :  $0.620m^3$

地位 III :  $0.409m^3$

主林木のha当たり本数 (N) については、直径階ごとに求め、指数式に当てはめた結果、(8) 式を得た。

$$N = 3928 \times \exp(-D + 0.5651) \div 16.8928 + 212.5389 \quad r^2 = 0.98836 \quad (8)$$

このことから、40年生次のNは以下のとおり算出される。

地位Ⅰ : 682本

地位Ⅱ : 840本

地位Ⅲ : 1006本

40年生次の主林木のha当たり材積 (V) は、Nとvを乗じて求めたところ、以下のとおり算出される。

地位Ⅰ : 637m<sup>3</sup>

地位Ⅱ : 520m<sup>3</sup>

地位Ⅲ : 411m<sup>3</sup>

⑤ 副林木の構成数値の決定

副林木のha当たり本数については、Nの齡階差とした。

また、副林木の平均直径 (D') については、Dとの直線式

$$D' = 0.6731 \times D^{0.2582} \quad (9)$$

に主林木の平均直径を代入し、D' を算出した。

副林木の平均樹高 (H') については、Hとの直線式

$$H' = 0.855455 \times H - 1.53456 \quad (10)$$

に主林木の平均樹高を代入し、H' を算出した。

主林木及び副林木のha当たり断面積合計 (G) については、直径との関係をべき乗式

$$\text{主林木} : G = 6.876 \times D^{0.6365} \quad (11)$$

$$\text{副林木} : G = 0.10717 \times D'^{1.0423} \quad (12)$$

に主・副林木の齡階ごとの平均直径を代入して求めた。

副林木のha当たり材積 (V') については、主林木算出時に得られた関係式にD' やH' を代入することにより算出した。

以上の手法で得た林分収穫表を表5-2~5-4に示す。

表5-2 林分収穫表(地位I)

林 齢	主林木				副林木		主副林木合計					
	平均 樹高	平均 胸高 直径	本数	幹 材積	本数	幹 材積	平均 胸高 直径	本数	胸高 断面積	幹 材積	連年 成長 量	総収 穫量
年	m	cm	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	cm	本/ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha
15	12.8	12.9	1991	229	614	8.9	9.6	2605	36.8	238	23.2	243
20	15.7	17.9	1543	326	448	12.4	13.4	1991	45.0	338	20.0	353
25	18.3	22.7	1218	416	325	15.6	17.3	1543	52.5	432	18.8	458
30	20.6	27.3	980	497	238	18.6	21.3	1218	59.2	516	16.8	558
35	22.5	31.3	808	571	172	21.3	25.2	980	65.2	592	15.2	653
40	24.3	35.1	682	637	126	23.8	29.2	808	70.6	661	13.8	743
45	25.8	38.3	591	697	91	26.0	32.9	682	75.4	723	12.4	829
50	27.1	41.4	524	751	67	28.0	36.8	591	79.7	779	11.2	911
55	28.2	44.0	475	800	49	29.8	40.2	524	83.5	830	10.2	990
60	29.1	46.3	440	843	35	31.4	43.3	475	86.9	874	8.8	1064
65	29.9	48.3	414	882	26	32.8	46.0	440	89.9	915	8.2	1136
70	30.6	50.0	395	916	19	34.0	48.4	414	92.6	950	7.0	1204
75	31.2	51.6	382	947	13	35.0	50.4	395	94.9	982	6.4	1270
80	31.7	53.1	372	974	10	36.0	52.2	382	97.0	1010	5.6	1333
85	32.2	54.2	365	998	7	36.8	53.7	372	98.8	1035	5.0	1394
90	32.5	55.2	359	1019	6	37.5	54.9	365	100.5	1057	4.4	1452
95	32.9	56.0	356	1038	3	38.1	55.8	359	101.9	1076	3.8	1509
100	33.1	56.8	353	1055	3	38.6	56.6	356	103.1	1094	3.6	1565
105	33.3	57.7	351	1070	2	39.0	57.7	353	104.3	1109	3.0	1619
110	33.5	58.2	349	1083	2	39.4	58.1	351	105.2	1122	2.6	1671
115	33.7	58.7	348	1095	1	39.8	58.7	349	106.1	1135	2.6	1723
120	33.8	59.3	347	1105	1	40.0	59.3	348	106.9	1145	2.0	1773

表 5-3 林分收穫表 (地位 II)

林齡	主林木				副林木		主副林木合計					
	平均樹高	平均胸高直徑	本數	幹材積	本數	幹材積	平均胸高直徑	本數	胸高斷面積	幹材積	連年成長量	總收穫量
年	m	cm	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	cm	本/ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha
15	10.1	10.4	2254	144	616	7.4	8.0	2870	30.7	151	21.6	156
20	12.7	15.0	1791	236	463	10.4	11.6	2254	38.3	246	19.0	258
25	15.0	19.2	1444	319	347	13.3	15.0	1791	45.0	332	17.2	354
30	17.1	23.3	1183	393	261	16.0	18.5	1444	51.0	409	15.4	444
35	18.9	27.1	987	460	196	18.4	22.0	1183	56.2	478	13.8	530
40	20.5	30.3	840	520	147	20.7	25.3	987	60.7	541	12.6	610
45	21.9	33.4	730	573	110	22.7	28.6	840	64.7	596	11.0	686
50	23.1	36.2	647	621	83	24.5	31.9	730	68.1	646	10.0	759
55	24.1	38.6	585	663	62	26.1	34.8	647	71.1	689	8.6	827
60	25.0	40.7	538	701	47	27.6	37.6	585	73.7	729	8.0	892
65	25.8	42.4	503	734	35	28.9	39.8	538	75.9	763	6.8	954
70	26.5	44.2	477	763	26	30.0	42.2	503	77.8	793	6.0	1013
75	27.0	45.4	457	789	20	31.0	43.9	477	79.5	820	5.4	1070
80	27.5	46.7	442	812	15	31.8	45.6	457	80.9	844	4.8	1125
85	27.9	48.0	431	832	11	32.6	47.1	442	82.1	865	4.2	1178
90	28.3	49.0	423	849	8	33.2	48.5	431	83.1	882	3.4	1228
95	28.6	49.8	416	865	7	33.8	49.3	423	84.0	899	3.4	1278
100	28.8	50.5	412	878	4	34.2	50.2	416	84.8	912	2.6	1325
105	29.1	51.1	408	890	4	34.7	50.9	412	85.4	925	2.6	1372
110	29.3	51.6	405	901	3	35.0	51.6	408	86.0	936	2.2	1418
115	29.4	52.1	403	910	2	35.3	52.1	405	86.5	945	1.8	1462
120	29.5	52.6	402	918	1	35.6	52.6	403	86.9	954	1.8	1505

表5-4 林分収穫表(地位Ⅲ)

林 齢	主林木				副林木		主副林木合計					
	平均 樹高	平均 胸高 直径	本数	幹 材積	本数	幹 材積	平均 胸高 直径	本数	胸高 断面積	幹 材積	連年 成長 量	総収 穫量
年	m	cm	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	cm	本/ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha
15	7.4	8.4	2549	88	644	6.0	6.7	3193	26.6	94	18.0	97
20	9.7	12.6	2057	166	492	8.8	10.0	2549	33.9	175	16.2	184
25	11.8	16.5	1681	236	376	11.4	13.2	2057	40.4	247	14.4	265
30	13.7	20.3	1393	301	288	13.9	16.5	1681	46.1	315	13.6	344
35	15.3	23.6	1174	359	219	16.1	19.6	1393	51.1	375	12.0	418
40	16.8	26.6	1006	411	168	18.2	22.6	1174	55.4	429	10.8	489
45	18.0	29.3	877	458	129	20.0	25.5	1006	59.2	478	9.8	556
50	19.1	31.8	779	500	98	21.7	28.3	877	62.4	522	8.8	619
55	20.1	34.2	704	537	75	23.2	31.1	779	65.2	560	7.6	679
60	20.9	36.1	647	571	57	24.5	33.5	704	67.6	596	7.2	738
65	21.7	37.8	603	601	44	25.7	35.6	647	69.7	627	6.2	794
70	22.3	39.2	570	627	33	26.7	37.4	603	71.4	654	5.4	846
75	22.8	40.7	544	651	26	27.6	39.4	570	72.9	679	5.0	898
80	23.3	41.7	524	672	20	28.4	40.7	544	74.2	700	4.2	947
85	23.7	42.7	510	690	14	29.1	41.9	524	75.3	719	3.8	994
90	24.0	43.7	498	707	12	29.7	43.1	510	76.2	737	3.6	1041
95	24.3	44.5	489	721	9	30.2	44.1	498	77.0	751	2.8	1085
100	24.6	45.2	483	734	6	30.7	44.9	489	77.7	765	2.8	1129
105	24.8	45.8	478	745	5	31.1	45.6	483	78.3	776	2.2	1171
110	25.0	46.3	474	755	4	31.4	46.2	478	78.7	786	2.0	1213
115	25.1	46.8	471	764	3	31.7	46.7	474	79.1	796	2.0	1253
120	25.3	47.3	468	771	3	32.0	47.3	471	79.5	803	1.4	1292

## (3) 林分収穫表の取り扱い上の留意点

林分収穫表の取り扱いに当たっては、現実林分がどの地位に該当するかを判定する必要がある。

前述のとおり、平均樹高は立木密度などの影響を受けにくいいため、通常は林齢と主林木の平均樹高をもとに、地位指数曲線から地位を求めるが、現実林分から求めた地位が地位指数曲線上にない場合(ある地位指数曲線と別の地位指数曲線の間にある場合)は、比例修正により補正する。また、地位が等しく(平均樹高が同じ。)でも、施業履歴等が異なるため、立木本数や材積等に差異がある場合は、材積比により補正する。

期間成長量の推定は、以下の式による。

$$\text{期間成長量} = \frac{\text{現在の材積}}{\text{同一地位・林齢に対応する林分収穫表の材積}} \times \left[ \begin{array}{l} \text{(将来林齢に対する)} \\ \text{林分収穫表材積+表中} \\ \text{の期間中の副林木材積} \end{array} \right] - \text{現在の材積}$$

材積比

なお、林分生産係数を以下の式により求め、材積比に代えてもよい。

$$\text{林分生産係数} = \text{地位係数} \times \text{立木度}$$

$$= \frac{\text{現実林の主林木平均樹高}}{\text{林分収穫表の主林木平均樹高}} \times \frac{\text{現実林の ha 当たり主林木胸高断面積合計}}{\text{林分収穫表の ha 当たり主林木胸高断面積合計}}$$

本指針で示す林分収穫表は、オビスギを主な対象としており、県南西部に多いサツマメアサや、県北部に多いニシウスキアオについては、推定精度が悪くなることが予想される。

このような場合は、関係機関に照会し、これらの品種に対応している林分収穫表を求めるとよい<sup>4)</sup>。

## 2 林分密度管理

成長に伴って林木は大きくなり、より広い生育空間が必要になる。

森林を除間伐等の保育をせずに放置しておくと、林木は生存に必要な生育空間を求めて個体間の競争が激しくなる。

競争に負けた林木の成長は衰え、やがては枯死に至るが、一方、競争に勝ち残っても、形状比が著しく高いモヤシ状の林木となるため、風害を始めとした気象害に弱くなる。

通直で完満な林木に仕立てるとともに、気象害等に強い森林を造成するため、間伐により生育段階に見合った林分密度に調節し、林分を適切に管理することを林分密度管理という。

### (1) 林分密度管理図

林木の成長に関する密度効果の法則等を応用し、生育段階に応じた密度 (ha 当たり本数) と材積等の関係を表したものを林分密度管理図という。

主な用途は、林分の密度管理や収穫量の予測であり、これらをもとに施業方法や経営計画等の決定に利用される。

林分密度管理図<sup>5)</sup>を、図5-5に示す。



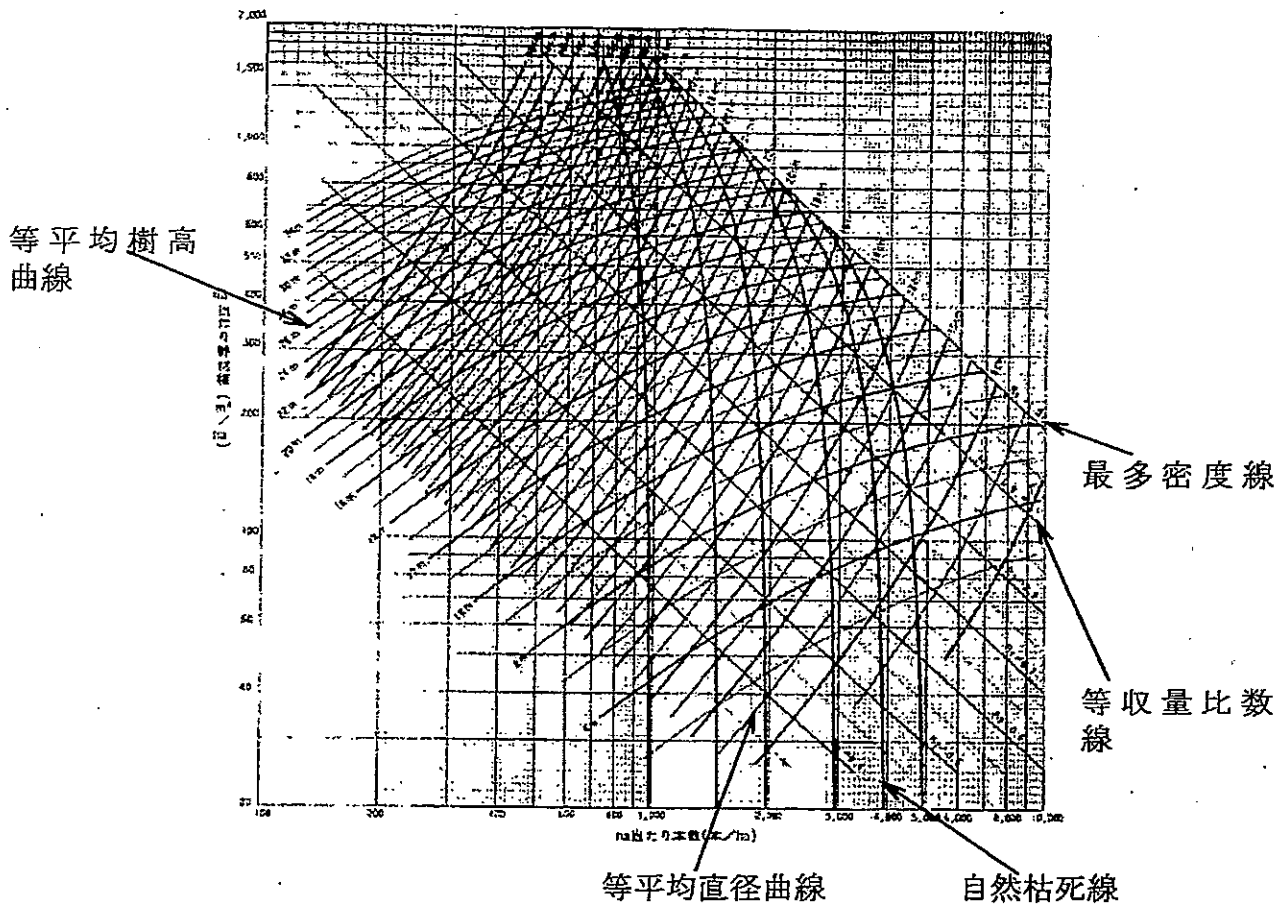


図5-5 林分密度管理図<sup>5)</sup>

林分密度管理図は、以下の5種類の線により構成されている。

① 等平均樹高曲線

ある上層樹高 (H) (被圧木、枯損木を除いた立木の平均樹高のこと。立木密度の影響を受けにくい。) におけるhaあたり本数 (N)と幹材積 (V) の関係を表した線であり、以下の関係式が成り立つ。

$$V = (0.068509 \times H^{-1.347464} + 2658.2 \times H^{-2.814651} \div N)^{-1} \quad (13)$$

なお、林分密度管理図においては、平均樹高 ( $\bar{H}$ ) とHとの関係は、以下の式のとおりとしている。

$$\bar{H} = 0.994270 + 1.000626 \times H - 0.040745 \times N^{0.5} \times H \div 100 \quad (14)$$

② 自然枯死線

競争によって立木が自然に枯れて、本数が減少する経過を植栽本数ごとに表した線である。植栽本数  $n_0$  に対する自然枯死線は、(15) 式で求められる平均単木材積  $v$  の

関数である (16) 式で表すことができる。

$$v = (0.068509 \times H^{-1.347464} \times n + 2658.2 \times H^{-2.814651})^{-1} \quad (15)$$

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{n_0} - \frac{v}{3.47089 \times 10^6 \times n_0^{-0.9184}} \quad (16)$$

$v$  : 任意の上層樹高における自然枯死線上の平均単木材積

$n$  : 任意の上層樹高における自然枯死線上のha当たり本数

$n_0$  : ha当たり植栽本数

### ③ 最多密度線

自然枯死線は、植栽本数が違っていても、生育が進むとやがて1つの直線に収束し、その線上をたどっていくようになる。この直線を最多密度線といい、それぞれの等平均樹高線ごとに限界のha当たり本数を示している。最多密度線は以下の関係式で表すことができる。

$$\log V_{Rf} = 5.9637 - 0.9184 \log N_{Rf} \quad (17)$$

$V_{Rf}$  : 最多密度におけるha当たり幹材積

$N_{Rf}$  : 最多密度におけるha当たり本数

なお、 $V_{Rf}$ と $N_{Rf}$ 、 $H$ との関係は以下の関係式で示すことができる。

$$V_{Rf} = (0.068509 \times H^{-1.347464} + 2658.2 \times H^{-2.814651} \div N_{Rf})^{-1} \quad (18)$$

$$\log N_{Rf} = 5.3083 - 1.4672 \log H \quad (19)$$

### ④ 等平均直径曲線

ある上層樹高とha当たり本数のときの平均胸高直径を示した線であり、以下の関係式で表すことができる。

$$\bar{d} = -0.048940 + 0.989370 \times \bar{d}_g - 0.034814 \times N^{0.5} \times H \div 100 \quad (20)$$

$\bar{d}$  : 平均胸高直径

$\bar{d}_g$  : 断面積平均直径

$\bar{d}_g$ は以下の関係式で求める。

$$\bar{d}_g = 200 \times (G \div (\pi \times N))^{0.5} \quad (21)$$

$G$  : ha当たり断面積

HF：林分形状高

なお、G及びHFは以下の式で求める。

$$G=V\div HF \quad (22)$$

$$HF=0.791213+0.353895\times H+0.244012\times N^{0.5}\times H\div 100 \quad (23)$$

### ⑤ 等収量比数線

平均樹高が同一の林分において、最多密度における林分材積に対する割合を示している。そのため、最多密度線と平行となる。収量比数 ( $R_y$ ) は以下の関係式で表すことができる。

$$R_y=V\div V_{rf} \quad (24)$$

## (2) 林分密度管理の考え方

下層間伐による間伐量は、間伐前のha当たり材積（間伐前の上層樹高とha当たり本数に対応する材積をいう。）と、間伐後のha当たり材積（本数間伐率や管理基準として定められた収量比数等から求めた残存本数と、間伐前の上層樹高とに対応する材積をいう。）の差として求められる。

このとき、林分が過密にならないよう、密度管理は収量比数0.6～0.9の範囲で行う。なお、一般には、収量比数0.9～0.8で管理する方法を密仕立て、0.8～0.7で管理する方法を中庸仕立て、0.7よりも低く管理する方法を疎仕立てという<sup>6)</sup>。

また、間伐を実施すると、林分密度が低下し、それに伴い収量比数も低下するが、強度の間伐などにより急激に収量比数を低下させると、風害などに対する抵抗力が低下するため、1回の間伐で動かす収量比数は0.15以下とする。特に、風害等の恐れのあるところにおいては、形状比が極端に大きくならないよう留意する。

また、調査対象林分の面積が大きく、生育状態（上層樹高やha当たり本数）にばらつきがある場合は、林相区分を行い、各区分ごとの上層樹高やha当たり本数を用いて算出した値に、区分面積と全面積との比を重みとして、ha当たり材積や平均胸高直径を求めるとよい。

ここで、表5-5に示す施業体系により施業を行った場合における密度管理の例を以下に示す。

第1回保育間伐（下層間伐）においては、間伐前の林分は上層樹高11m、ha当たり本数が2,000本であるので、ha当たり幹材積は(13)式により、

表-5.5 施業体系の例(1)

作業種	林齢	上層樹高 (m)	ha当たり本数 (本/ha)	本数間伐率 (%)
除 伐	11	9	2,250	10
保育 間伐	第1回	16	2,000	20
	第2回	23	1,605	20
利用 間伐	第1回	30	1,286	20
	第2回	40	1,026	20
	第3回	50	821	20
	第4回	60	654	20
主 伐	70	29	526	100

$$\begin{aligned}
 V &= (0.068509 \times H^{-1.347464} + 2658.2 \times H^{-2.814651} \div N)^{-1} \\
 &= (0.068509 \times 11^{-1.347464} + 2658.2 \times 11^{-2.814651} \div 2000)^{-1} \\
 &= 234.492544 \dots \approx 234 \text{ m}^3/\text{ha}
 \end{aligned}$$

となる。

次に、林分形状高は (23) 式により、

$$\begin{aligned}
 HF &= 0.791213 + 0.353895 \times H + 0.244012 \times N^{0.5} \times H \div 100 \\
 &= 0.791213 + 0.353895 \times 11 + 0.244012 \times 2000^{0.5} \times 11 \div 100 \\
 &= 5.884438323 \dots \approx 5.884
 \end{aligned}$$

また、ha当たり断面積は (22) 式により、

$$G = V \div HF = 234 \div 5.884 = 39.76886472 \dots \approx 39.769$$

となるため、断面積平均直径は (21) 式により、

$$\begin{aligned}
 \bar{d}_g &= 200 \times (G \div (\pi \times N))^{0.5} = 200 \times (39.769 \div (\pi \times 2000))^{0.5} \\
 &= 15.91154667 \dots \approx 15.9 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

また、平均胸高直径は (20) 式により、

$$\begin{aligned}
 \bar{d} &= -0.048940 + 0.989370 \times \bar{d}_g - 0.034814 \times N^{0.5} \times H \div 100 \\
 &= -0.048940 + 0.989370 \times 15.9 - 0.034814 \times 2000^{0.5} \times 11 \div 100 \\
 &= 15.51078076 \dots \approx 15.5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

となる。

これらの結果から (19) 式により、

$$\log N_{rf} = 5.3083 - 1.4672 \log H = 5.3083 - 1.4672 \log 11 = 3.780368652 \dots$$

となるので、最多密度におけるha当たり本数は、

$$N_{rf} = 10^{3.780368652 \dots} = 6030.712875 \dots \approx 6,031 \text{ 本/ha}$$

となる。

また、最多密度におけるha当たり材積は (18) 式により、

$$\begin{aligned}
 V_{rf} &= (0.068509 \times H^{-1.347464} + 2658.2 \times H^{-2.814651} \div N_{rf})^{-1} \\
 &= (0.068509 \times 11^{-1.347464} + 2658.2 \times 11^{-2.814651} \div 6031)^{-1}
 \end{aligned}$$

$$=310.2129946\cdots \approx 310\text{m}^3/\text{ha}$$

となるので、収量比数は (24) 式により、

$$R_y = V \div V_{Rf} = 234 \div 310 = 0.7548387097\cdots \approx 0.75$$

となる。

ここで、本数間伐率20%の間伐（間伐後の本数を1,605本/haとする。）を行うと、上層樹高は11mであるため、ha当たり幹材積は (13) 式により、

$$\begin{aligned} V &= (0.068509 \times H^{-1.347464} + 2658.2 \times H^{-2.814651} \div N)^{-1} \\ &= (0.068509 \times 11^{-1.347464} + 2658.2 \times 11^{-2.814651} \div 1605)^{-1} \\ &= 215.1549216\cdots \approx 215\text{m}^3/\text{ha} \end{aligned}$$

となる。

次に、林分形状高は (23) 式により、

$$\begin{aligned} HF &= 0.791213 + 0.353895 \times H + 0.244012 \times N^{0.5} \times H \div 100 \\ &= 0.791213 + 0.353895 \times 11 + 0.244012 \times 1600^{0.5} \times 11 \div 100 \\ &= 5.7577108\cdots \approx 5.758 \end{aligned}$$

また、ha当たり断面積は (22) 式により、

$$G = V \div HF = 215 \div 5.758 = 37.33935394\cdots \approx 37.339$$

となるため、断面積平均直径は (21) 式により、

$$\begin{aligned} \bar{d}_g &= 200 \times (G \div (\pi \times N))^{0.5} = 200 \times (37.339 \div (\pi \times 1605))^{0.5} \\ &= 17.21071378\cdots \approx 17.2\text{cm} \end{aligned}$$

また、平均胸高直径は (20) 式により、

$$\begin{aligned} \bar{d} &= -0.048940 + 0.989370 \times \bar{d}_g - 0.034814 \times N^{0.5} \times H \div 100 \\ &= -0.048940 + 0.989370 \times 17.2 - 0.034814 \times 1600^{0.5} \times 11 \div 100 \\ &= 16.8150424\cdots \approx 16.8\text{cm} \end{aligned}$$

となる。

ここで、上層樹高は変わらないので、最多密度におけるha当たり本数及び材積は先に求めた値のとおりとなるため、収量比数は (24) 式により、

$$R_y = V \div V_{Rf} = 215 \div 310 = 0.6935483871\cdots \approx 0.69$$

となる。

これらの結果から、ha当たり間伐材積は、

$$310 - 215 = 95 \text{ m}^3/\text{ha}$$

間伐により変動した収量比数及び形状比は、

$$\text{間伐前の収量比数} - \text{間伐後の収量比数} = 0.75 - 0.69 = 0.06$$

$$\begin{aligned} \text{間伐前の形状比} - \text{間伐後の形状比} &= 11 \times 100 \div 15.5 - 11 \times 100 \div 16.8 \\ &= 71.0 - 65.5 = 5.5 \end{aligned}$$

となる。

以上の計算を林分密度管理図を用いて行くと、図5-6に示すとおりとなる。

間伐前については、横軸に示されている2,000本/haの線と11mの等平均樹高曲線との交点（点A）の位置を、縦軸に示されているha当たり幹材積で読むと234m<sup>3</sup>/ha、また点Aは16cmの等平均直径曲線の近くにあるので、平均胸高直径は15.5cm、収量比数は等収量比数線との関係から0.75であることが読み取れる。

ここで、本数間伐率20%の間伐を行うと、間伐後の林分は、上層樹高11m、ha当たり本数が1,600本となるので、点Aを11mの等平均樹高曲線に沿って1,600本/haまで下げた位置（点B）を縦軸に示されているha当たり幹材積で読むと215m<sup>3</sup>/ha、また点Bは17cmの等平均直径曲線の近くにあるので、平均胸高直径は16.8cm、収量比数は0.69であることが読み取れる。

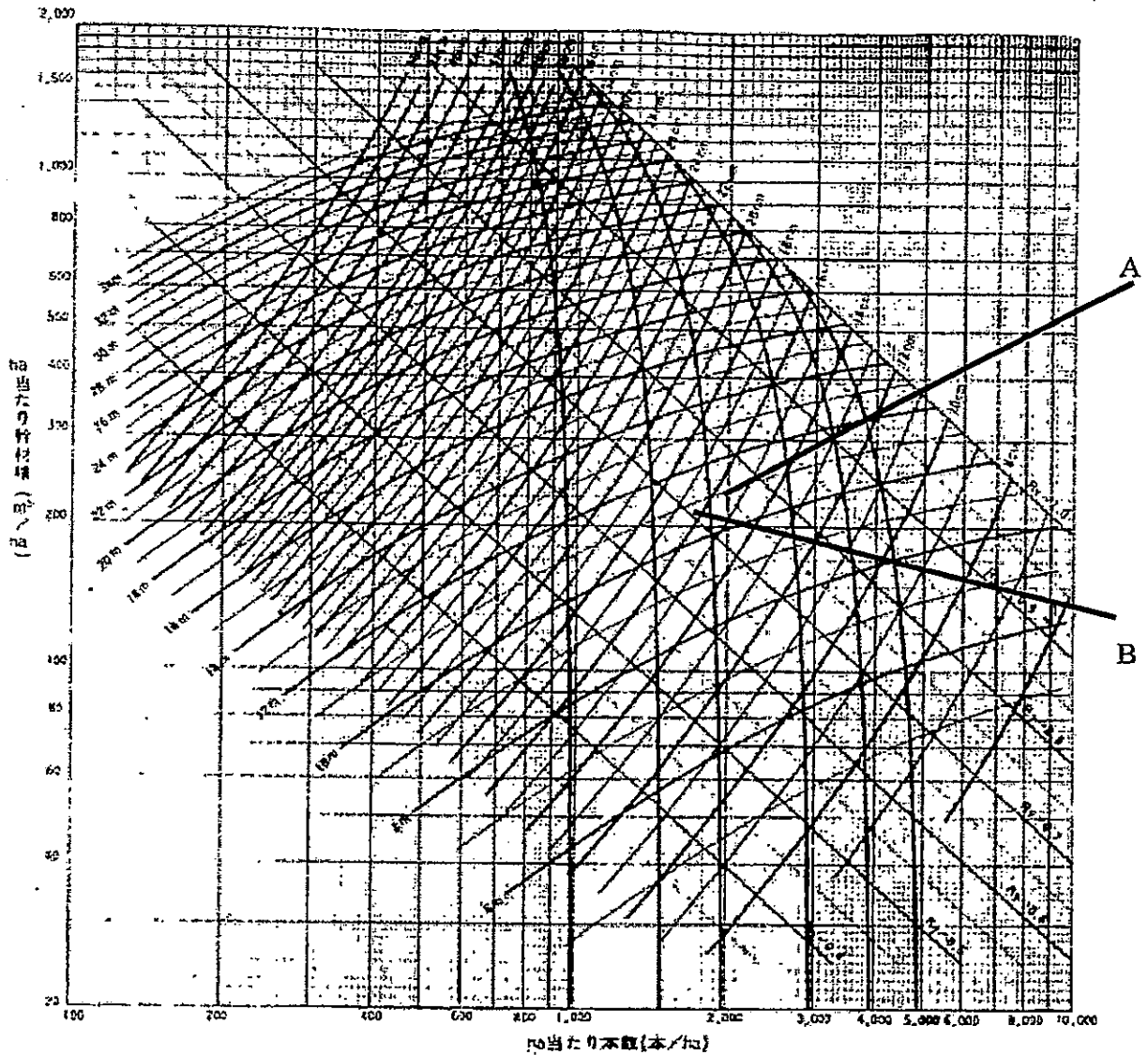


図 5 - 6 密度管理の例 (1)

林分密度管理は自然間引き現象を基礎としているため、劣勢木や欠点木から間伐する下層間伐においては全面的に利用することが可能であるが、上層間伐等では推定精度が悪くなる。

なお、列状間伐を始めとした、間伐木を機械的に決定するため、間伐前後における林分の平均個体の大きさがほとんど変わらない場合においては、材積ガイド線（右上がりの傾き45°の線のことである。平均個体の大きさが概ね一定のときの本数密度と材積の関係を示している。）を引いて求めるとよい<sup>7)</sup>。

例えば、表5-6に示す施業体系により施業を行った場合における密度管理は以下のとおりである。

第1回利用間伐（列状間伐）においては、間伐前の林分は上層樹高17m、ha当たり本数が1,286本であるので、

表-5.6 施業体系の例(2)

作業種	林齢	上層樹高 (m)	ha当たり本数 (本/ha)	本数間伐率 (%)
除 伐	11	9	2,250	10
保育 間伐	第1回	16	2,000	20
	第2回	23	1,605	20
利用 間伐	第1回	30	1,286	20
	第2回	40	1,026	20
	第3回	50	821	20
	第4回	60	654	20
主 伐	70	29	526	100

横軸に示されている1,286本/haの線と17mの等平均樹高曲線との交点（点C）の位置を、縦軸に示されているha当たり幹材積で読むと451m<sup>3</sup>/ha、また点Cは23cmの等平均直径曲線の近くにあるので、平均胸高直径は22.7cm、収量比数は等収量比数線との関係から0.81であることが読み取れる。

ここで、点Cを通過する材積ガイド線に沿って間伐後の本数（1,026本/haとする。）まで下げた位置（点D）の値を読み取るとよい。

これらの作業を、林分密度管理図を用いて行くと、図5-7に示すとおりとなる。



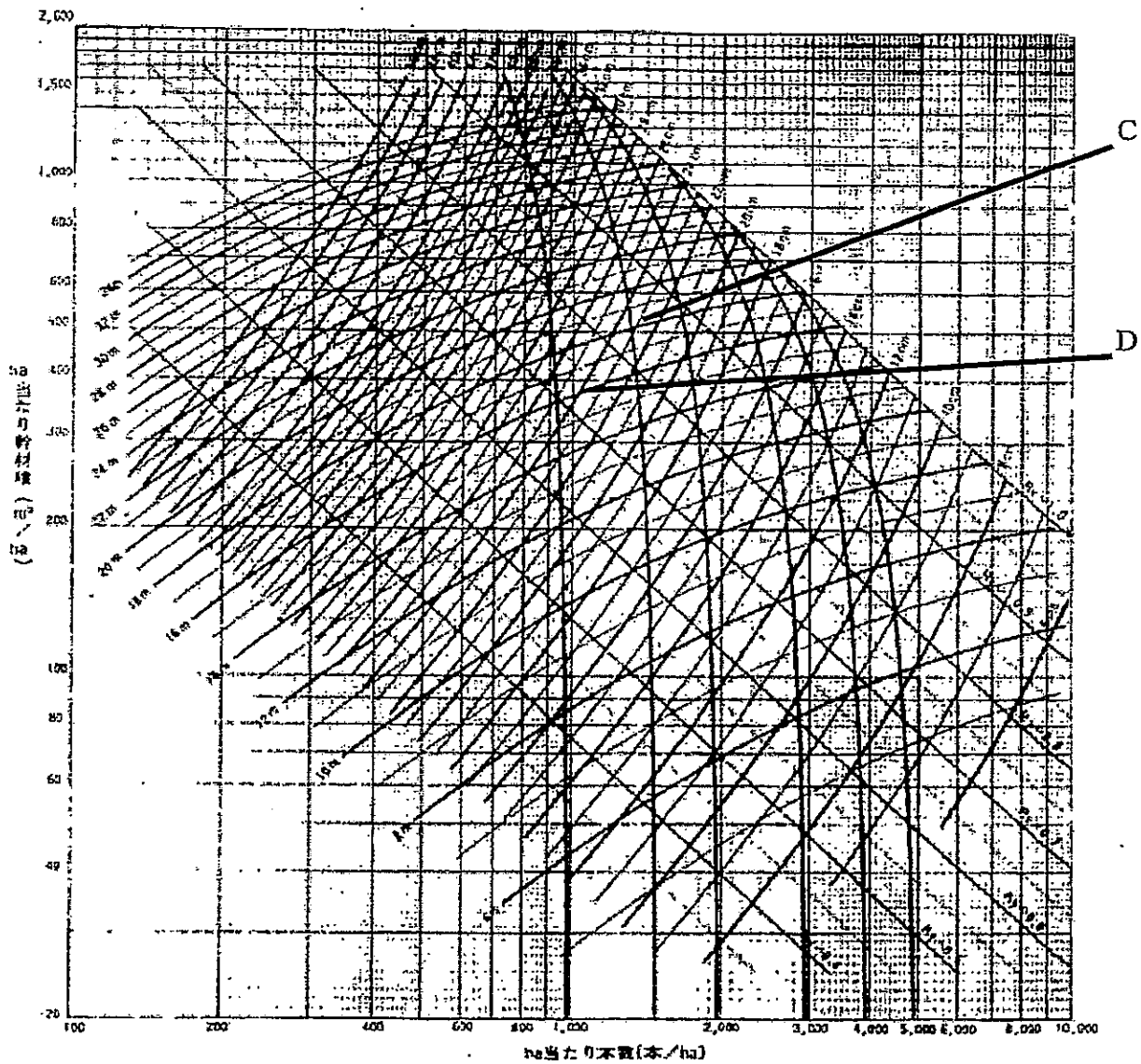


図5-7 密度管理の例(2).

(3) 林分密度管理に当たっての留意点

以上によって求められた数値は、あくまでも平均的な値であり、個々の林分についてはかなりの誤差を伴うものと思われるため、平均胸高直径かha当たり断面積が実測されているときは、以下の算式により補正するとよい。

$$V_c = V \times \left( \frac{\text{実測した平均胸高直径}}{\text{林分密度管理図等で推定される平均胸高直径}} \right)^2$$

$$V_c = V \times \left( \frac{\text{実測したha当たり断面積}}{\text{林分密度管理図等で推定されるha当たり断面積}} \right)$$

$V_c$  : 補正した材積

$V$  : (13) 式で求めた材積

(付録)

## 宮崎県民有林収穫表

スギ		耳一ツ瀬川 五ヶ瀬川		大淀川 広渡川		大淀川 広渡川	
林齢	齡級	成長率	蓄積	成長率	蓄積	成長率	蓄積
		%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>
11	3	16.3	40	16.5	39	17.6	38
12			48		47		46
13			57		56		55
14			66		67		65
15			76		77		77
16	4	11.3	87	11.2	88	11.9	89
17			98		101		102
18			110		113		115
19			124		125		128
20			136		137		142
21	5	8.6	150	7.6	149	7.9	156
22			164		162		170
23			180		175		184
24			196		188		198
25			211		201		212
26	6	6.0	226	5.2	213	5.7	226
27			240		225		240
28			254		237		255
29			268		249		269
30			285		261		283
31	7	4.4	300	3.6	272	4.3	297
32			315		283		311
33			329		293		324
34			342		303		339
35			355		312		352
36	8	3.0	370	2.9	321	3.0	361
37			382		330		373
38			392		341		385
39			402		351		397
40			412		361		410
41	9	1.9	422	2.9	371	2.9	423
42			430		381		436
43			437		390		449
44			444		401		461
45			452		417		474
46	10	1.4	460	2.0	425	2.4	485
47			466		434		498
48			472		443		511
49			478		451		523
50			484		460		535
下記は×80%(注1) 延岡(海岸平地)、日向 門川( " )、高鍋				右記を除く地域		宮崎(木花、青島、内海) 田野、清武、日南、串間 南那珂郡(注2)	

ヒノキ		全 域		マツ		耳 川 五ヶ瀬川		一 大 瀬 川 ツ 淀 渡 川	
林齢	齡級	成長率	蓄 積	林齢	齡級	成長率	蓄 積	成長率	蓄 積
		%	m <sup>3</sup>			%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>
11	3	16.6	36	11	3	19.3	32	15.4	30
12			43	12			36		
13			50	13			46		
14			60	14			56		
15			70	15			66		
16	4	11.0	81	16	4	11.3	76	9.8	60
17			91	17			86		
18			102	18			96		
19			112	19			106		
20			123	20			118		
21	5	7.1	134	21	5	7.7	130	8.1	98
22			144	22			141		
23			156	23			152		
24			166	24			163		
25			176	25			174		
26	6	4.8	186	26	6	5.1	184	5.4	140
27			196	27			195		
28			206	28			206		
29			215	29			216		
30			224	30			225		
31	7	3.4	233	31	7	3.6	234	4.1	184
32			242	32			244		
33			251	33			253		
34			259	34			261		
35			266	35			270		
36	8	2.8	274	36	8	2.6	273	3.1	224
37			282	37			287		
38			290	38			295		
39			298	39			302		
40			306	40			308		
41	9	2.2	313	41	9	1.9	315	2.5	259
42			320	42			322		
43			328	43			328		
44			335	44			333		
45			342	45			338		
46	10	2.0	350	46	10	1.4	343	2.1	293
47			357	47			348		
48			364	48			353		
49			371	49			358		
50			378	50			363		