

## 高齢林に対応したタテヤマスギ密度管理図

森林資源課 嘉戸昭夫

### 間伐計画に役立つツール

柱材や大径材など生産目標によって、間伐方法は大きく異なります。それぞれの生産目標をより効率的に達成するためには、密度管理図やシステム収穫表などのツールを利用して間伐計画をたてることをお勧めします。

システム収穫表を用いると、パソコンとの対話によって将来の直径、樹高、ha当たり幹材積、丸太本数を予測でき、間伐効果の査定も可能になります。

一方、密度管理図では間伐効果については検討できませんが、平均樹高とha当たり本数から、平均直径、ha当たり材積、林の混み具合などが予測できます。間伐の時期や量を予測するだけであれば、こちら方が使い勝手が良いでしょう。

### タテヤマスギに対応した密度管理図

タテヤマスギに対応しているのは、旧日本林業技術協会（1979）調製の「裏東北北陸地方スギ林分密度管理図」（以下、「裏東北・北陸」と呼ぶ）と旧富山県林試の中川亮一氏（1982）調製の「タテヤマスギ林分密度管理図」（以下、「旧立山」と呼ぶ）です。

しかし、これらは50年生ぐらいで主伐することを想定して調製されたものなので、高齢林の幹材積を推定すると大きな誤差を生じます。

そこで、「旧立山」の調製に使用された321箇所の調査資料に、新たに調べた高齢林を主とする58箇所の資料を加えて、タテヤマスギの密度管理図（以下、「新立山」と呼ぶ）を再調製し、付図として最後のページに掲載したので紹介します。

### 上層高の成長曲線

樹高成長は密度の影響を受けにくいことから、平均樹高が密度管理図で用いられています。ただし、この平均樹高は、全林木の平均値ではなく、枯損木や被圧木を除いた上層木の平均値です。これを上層高と呼んでいます。上層木は被圧木に比べて間伐されることが少ないため、上層高は間伐後もあまり変わらないので都合がよいのです。

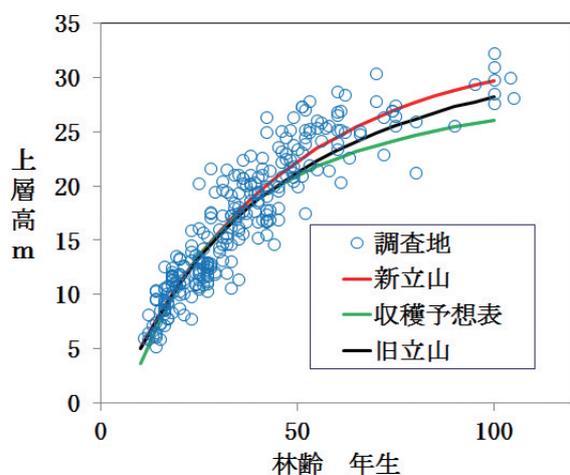


図1 上層高の成長曲線

密度管理図には林齢との関係が表示されていませんから、成長予測に用いるためには、林齢と上層高の関係、すなわち成長曲線を求める必要があります。

図1は上層高の成長曲線を示したものです。樹高成長量は若いときには大きいですが、高齢になると頭打ちするという傾向が見られます。このような成長傾向には、ミッチャーリッヒ成長曲線によく適合します。ここで、上層高を  $H_T$ 、林齢を  $t$ 、パラメータを  $M$ 、 $L$ 、 $K$  とすると、次式で示されます。

$$H_T = M (1 - L e^{-k \cdot t}) \quad (1)$$

この式を図1のように調査資料にあてはめ、上層高の中心線を求めました。その結果、 $M$ 、 $L$ 、 $k$ は、それぞれ32.8、1.07、0.0241となりました。 $M$ の値から、上層高の中心線の上限が33m程度であることがわかります。

図1には、今回求めた中心線と比較するために、過去に得られた2つの中心線も示してあります。これらは、富山県(1980)が作成した「収穫予想表」と中川亮一氏(1982)の「旧立山」の密度管理図に報告されたものです。これらの中心線に顕著な違いがみられたのは林齢40年以降で、成長が最も良いのが「新立山」でした。この結果から、タテヤマスギの樹高成長はこれまで予想していたよりも大きいといえそうです。

### 地位別の上層高

樹高成長が密度の影響を受けにくいことを利用して、樹高は地位の評価に使われています。地位とは林地の生産力を表すもので、肥沃な林地を「一等地」または「地位上」、平均的な林地を「二等

地」または「地位中」、痩せ地を「三等地」または「地位下」に区分しています。

そこで、上層高の成長曲線を地位毎に求め、5年毎の値を表1に示しました。なお、各地位の成長曲線は、(1)式の  $L$  と  $k$  を固定し、 $M$  だけが地位によって変わるものとして求めました。

なお、以上の方法は相対的な地位区分なので、絶対的な基準として林齢40年の上層高で表す方法も使われています。その値を地位指数と呼んでいます。

### 密度管理図の構成

密度管理図は、林木成長の法則性を等平均樹高線、等直径線、最多密度線、等収量比数線および自然枯死線の5つの線で表し、一枚の対数方眼紙に表示したものです。ここでは密度管理の構成について付図を使って説明します。

**等平均樹高線：**上層高  $H_T$  が同じであれば、ha当たりの本数  $\rho$  が多いほどha当たり幹材積  $V$  が大きくなります。この  $V$ 、 $H_T$ 、 $\rho$  の関係を次式で示したのが等平均樹高線です。

表1 地位別の上層高成長曲線(m)

| 林齢  | 一等地  | 二等地  | 三等地  |
|-----|------|------|------|
| 10  | 6.2  | 5.2  | 4.1  |
| 15  | 9.9  | 8.3  | 6.7  |
| 20  | 13.2 | 11.1 | 8.9  |
| 25  | 16.2 | 13.5 | 10.9 |
| 30  | 18.8 | 15.7 | 12.6 |
| 35  | 21.1 | 17.7 | 14.2 |
| 40  | 23.2 | 19.4 | 15.6 |
| 45  | 25.0 | 20.9 | 16.8 |
| 50  | 26.6 | 22.3 | 17.9 |
| 55  | 28.1 | 23.5 | 18.8 |
| 60  | 29.3 | 24.5 | 19.7 |
| 65  | 30.5 | 25.5 | 20.5 |
| 70  | 31.5 | 26.3 | 21.1 |
| 75  | 32.3 | 27.0 | 21.7 |
| 80  | 33.1 | 27.7 | 22.3 |
| 85  | 33.8 | 28.3 | 22.7 |
| 90  | 34.4 | 28.8 | 23.1 |
| 95  | 35.0 | 29.2 | 23.5 |
| 100 | 35.5 | 29.6 | 23.8 |

$$V=1/(0.070021H_T^{-1.42626}+5978.9 H_T^{-2.97925} / \rho) \quad (2)$$

密度管理図には、等平均樹高線が赤色の凸型の線で示してあります。線の間隔は上層高2mです。ここで、付図から、上層高が20mで本数が1,000本/haの林（付図A）の幹材積を求めてみると、縦軸の目盛から約600m<sup>3</sup>/haと推定されました。

**等直径線**：ha当たりの幹材積を胸高断面積G（m<sup>3</sup>/ha）で割った値を林分形状高HFと呼んでいます。調査資料を用いて、林分形状高と上層高H<sub>T</sub>の関係を調べたところ、次式で近似されました。

$$HF=V/G \\ =1.302037+0.393291H_T \quad (3)$$

また、上層高と幹材積がわかっている場合には、（3）式を利用して求めた胸高断面積から計算した平均直径D<sub>g</sub>（cm）が次式によって計算できます。なお、πは円周率です。

$$D_g=200 \sqrt{G/(\pi \rho)} \quad (4)$$

D<sub>g</sub>を普通の平均直径D（cm）に直すには、調査資料から求めた次式で換算します。

$$D=0.9663D_g+0.1896 \quad (5)$$

そして、平均直径が等しくなるような材積と本数の組み合わせを計算して、結んだ線が等直径線です。

密度管理図には、等直径線が黒色の右上がりの線で示してあります。線の間隔は直径2cmです。付図から、上層高が20mで本数が1,000本/haの林（付図A）の平均直径を推定すると、約28cmでした。

**最多密度線**：林木が成長すると林木同士の激しい競争がはじまり、競争に敗れ

た木から順に枯れるために、本数が次第に減少していきます。このような現象を自己間引きと呼んでいます。自己間引きが起きるのは一定面積内に生存できる本数に上限があるからです。成長が進んで大きくなるほど一定面積内に入る本数が少なくなっていきます。この上限における本数と幹材積の関係を表すのが最多密度線です。最多密度における本数N<sub>Rf</sub>（本/ha）は次式から算出しました。

$$N_{Rf}=10^{5.4101} \cdot HT^{-1.5530} \quad (6)$$

また、最多密度における材積V<sub>Rf</sub>（m<sup>3</sup>/ha）は次式から算出しました。

$$V_{Rf}=10^{6.0099} N_{Rf}^{-0.9184} \quad (7)$$

密度管理図には、最多密度線が青色の左上がりの太い斜線で示してあります。

付図から、上層高が20mで最多密度に達した林（付図B）の本数と材積を求めてみると、横軸から本数は約2500本/ha、縦軸から幹材積は約800m<sup>3</sup>/haと推定されました。

**等収量比数線**：密度管理図では林の混み具合を、同じ上層高の最多密度における幹材積V<sub>Rf</sub>に対するある林の幹材積Vの比で表し、収量比数R<sub>y</sub>と呼んでいます。R<sub>y</sub>は0.0～1.0の範囲にあり、この値が大きい林ほど混んでいることを示しています。

ただし、真辺昭氏（1982）は、収量比数がVをV<sub>Rf</sub>で割って求めることができるのは幹材積、上層高および本数の関係が（2）式に一致する場合だけであるので、本数や幹材積の実測値から収量比数を算出する場合には近似式の使用を勧めています。そこで、真辺氏の方法で次の近似式を求めました。

$$R_y=1/(0.6562+1687.48V^{-0.6145} \rho^{-0.5644}) \quad (8)$$

密度管理図には、等収量比数線が最多密度線に平行に引かれた細い青線で見られ、 $R_y=0.9$ 、 $0.8$ 、 $0.7$ といった材積比率がつけられています。

**自然枯死線：**自己間引きは最多密度に達する前から起こります。この経過を植栽本数毎に示した曲線が自然枯死線です。この線はやがて最多密度線に近づいていきます。密度管理図には、自然枯死線が緑色の縦方向の曲線で示してあります。付図から、植栽本数が2,000本/haの林が無間伐で成長する場合の立木本数を求めてみると、上層高が20m（付図C）になると1,600本/haに、さらに30m（付図D）になると1,250本/haと推定されました。

### 「新立山」の予測精度

「新立山」の密度管理図で推定した幹材積は実際の測定値に比べて平均で約2%低くなっただけで、100林分中87林分は20%以下の誤差率で推定できました。さらに、平均直径やha当たり胸高断面積が測定されていれば、補正式を用いることにより誤差率を大きく下げることができます。補正した材積を $V_c$ 、推定材積を $V$ とすると、補正材積は次式で求められます。

$$V_c = V \times (\text{実測直径} / \text{推定直径})^2 \quad (9)$$

$$V_c = V \times (\text{実測断面積} / \text{推定断面積}) \quad (10)$$

### 現実林の成績判定

毎木調査が終わっている場合には、幹材積と平均直径の測定値と密度管理図からの推定値とを比較することにより現実林の成績判定ができます。もし測定された材積や平均直径が密度管理図の値よりも小さい場合には、地位に見合った成長

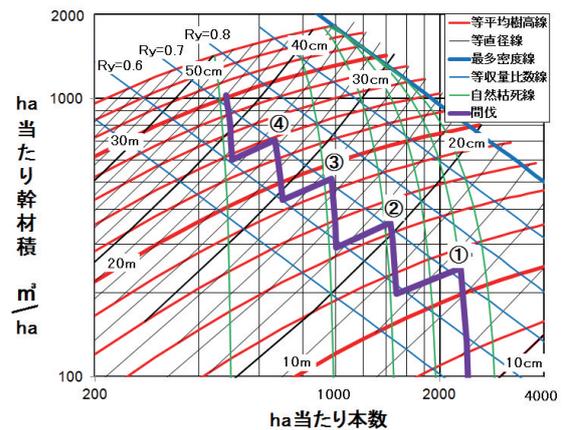


図2 比量比数による密度管理の事例

をしていないと判断されます。このような傾向は、過去に諸被害を受けた林や、間伐遅れの林を急激に疎開させたりした林で見られます。

### 収量比数による密度管理

密度管理図を開発した安藤貴氏（1968）によると、疎植疎仕立てで有名な飢肥地方では収量比数が0.5～0.6、中庸仕立ての国有林では0.7～0.8、密植密仕立てで有名な吉野地方では0.8～0.9の範囲で密度管理が行われているそうです。

これらを参考にすると、タテヤマスギの植栽本数は2,500～3,000本/haと少なめであることから、収量比数0.7前後で管理するのが良いと考えられます。

地位が二等地、植栽本数が2,500本/haの林分を、収量比数0.7前後で管理し、100年生で主伐とする事例について検討しました。なお、一回の間伐で動かす収量比数は0.15以下と制限されていますので、上限を0.73、下限を0.6としました。この場合の間伐計画を示すと図2の通りです。

① 植栽後、無間伐のまま成長すると、2,500本/haの自然枯死線に沿って幹材積が増加します。上層高が11mに成長したときに、収量比数が0.73になりましたので、第一回目の間伐を行ないます。表1から林齢は20年と予想されました。

間伐量を求めるために、まず、間伐前の本数と幹材積を図2から推定すると、それぞれ2,300本/ha、250m<sup>3</sup>/haでした。つぎに、間伐後の本数と材積を、同じ等平均樹高線上でかつ収量比数が0.6のときの値から推定すると、それぞれ、1,500本/ha、200m<sup>3</sup>/haでした。したがって、間伐本数は2,300から1,500を引いた700本/ha、幹材積は250から200を引いた50m<sup>3</sup>/haと予想されました。

② 間伐後は1,600本/haの自然枯死線に沿って幹材積が増加します。再び収量比数が0.73に到達するのは、上層高が14.5m、本数が1550本/ha、幹材積が350m<sup>3</sup>/haのときです。林齢は27年と予想されます。そこで収量比数が0.6となるように第二回目の間伐をします。間伐本数は500本/ha、幹材積は60m<sup>3</sup>/haと予想されました。

③ 同様に収量比数が0.73に達したら、収量比数が0.6となるように第三回目の間伐をします。このときの林齢は38年で、間伐本数は230本/ha、幹材積は60m<sup>3</sup>/haと予想されました。

④ 同様に収量比数が0.73に達したら、収量比数が0.6となるように第四回目の間伐をします。このときの林齢は55年、間伐本数は180本/ha、幹材積は100m<sup>3</sup>/haと予想されます。

⑤ 主伐期の林齢100年には、平均直径45cmの林木が480本あり、幹材積が960m<sup>3</sup>/haになると予想されました。

### 冠雪害防除を目指した密度管理

冠雪害を受けやすいのは細長な木です。形状比は細長さの指標の一つで、樹高 (cm) を胸高直径 (cm) で割って求めます。降雪量や林齢によっても違いますが、平均形状比が70を超えると冠雪害の危険性が高くなります。そこで、平均形状比が70以下で推移するように密度管理を行うことにしました。

図3に、地位が二等地で形状比が70で推移した場合のha当たりの本数と幹材積の関係を計算し、茶色の線で示しました。この線は収量比数0.7の線と上層高14m付近で交差しています。このときの林齢は26年でした。したがって、冠雪害を防除するには、林齢26年以下では収量比数0.7よりも形状比70の線に沿って密度管理をした方が良く考えられました。また26年以上では収量比数0.7の場合よりも少し高密度で管理しても雪害の危険性が低いようです。

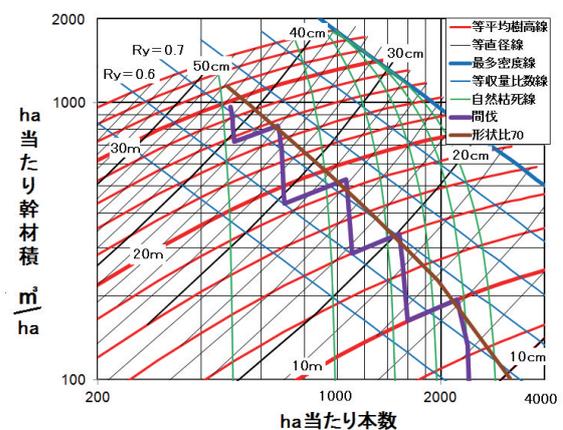


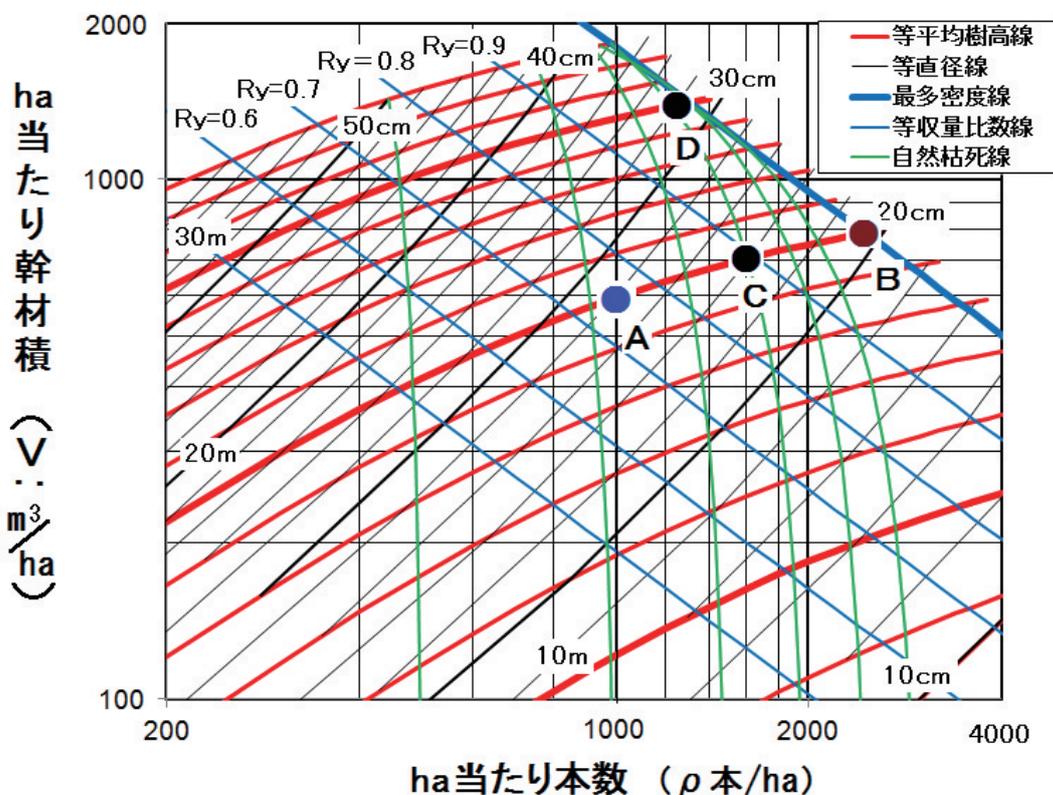
図3 冠雪害防除を目指した密度管理の事例

なお、間伐の本数や材積などの詳細については紙面の関係で省略します。

**参考文献**

安藤 貴 (1968) 密度管理.農林出版.  
 日本林業技術協会(1979) 裏東北北陸  
 地方スギ林分密度管理図  
 富山県林政課(1980) 人工林収穫予想

表・人工林林分材積表(立山すぎ)  
 真辺 昭 (1982) トドマツ人工林の収  
 穫量と収益の予測システムに関する研究.  
 林試研報 317:1-65  
 中川亮一 (1982) タテヤマスギ林分  
 密度管理図と収穫予想について.富山県  
 林試研報8:36-40



付図 タテヤマスギ林の密度管理図

**研究レポート No.7**  
 平成26(2014)年3月15日発行  
 編集 富山県農林水産総合技術センター森林研究所  
 〒930-1362 富山県中新川郡立山町吉峰3  
 電話 076-483-1511 FAX 076-483-1512  
<http://www.fes.pref.toyama.jp/>