

## 収量－密度図で収穫予測をしよう －カラマツを対象とした新しい施業体系－

滝谷美香・八坂通泰・梅木 清

### カラマツの長伐期施業体系図について

林業試験場では、長伐期施業に対応した「カラマツ人工林施業の手引き」（以下、手引き書という）を発行する運びとなった。この手引き書には新たな施業体系図と収穫予測表が掲載されているほか、各地域での施業事例、高齢人工林での生物環境多様性などの関連情報が盛り込まれている。施業体系図ならびに収穫予測表では、特等地からIII等地までのそれぞれの地位における、一般的な地位指数を想定し、各地位指数毎に1000本、1500本、2000本、2500本を植栽した時の適正な収穫予測と施業経過を示している。

これらの施業体系図は、収量－密度図の理論体系に基づき予測されたものである。これまで林業試験場では、トドマツ人工林、アカエゾマツ人工林などについても、基本的に同様の理論体系に基づいて施業指針を提示してきている。カラマツも1986年に収量－密度図を提示した。今回のカラマツの収量－密度図はさらに高齢級林分のデータを充実して、長伐期施業にも対応したものとなっている。

### 生産目標・施業体系の決定

収量－密度図の説明をする前に、まず手引き書に記載された施業体系図や収穫予測表を利用して、施業計画を選択するための考え方を説明したい。手引き書には、地位指数、植栽本数、仕立て方により、28通りの組み合わせからなる施業体系図、収穫予測表、径級構成の表が示されている（表－1）。

表－1 収穫予想表，施業体系図，径級構成表を作成した28通りの施業内訳

地位指数	地位区分	仕立方	植栽本数 (本/ha)			
			1000	1500	2000	2500
29	特等地	疎仕立	○*	○	○	○
		中庸仕立	—**	○	○	○
25	I等地	疎仕立	○	○	○	○
		中庸仕立	—	○	○	○
21	II等地	疎仕立	○	○	○	○
		中庸仕立	—	○	○	○
17	III等地	疎仕立	○	○	○	○
		中庸仕立	—	○	○	○

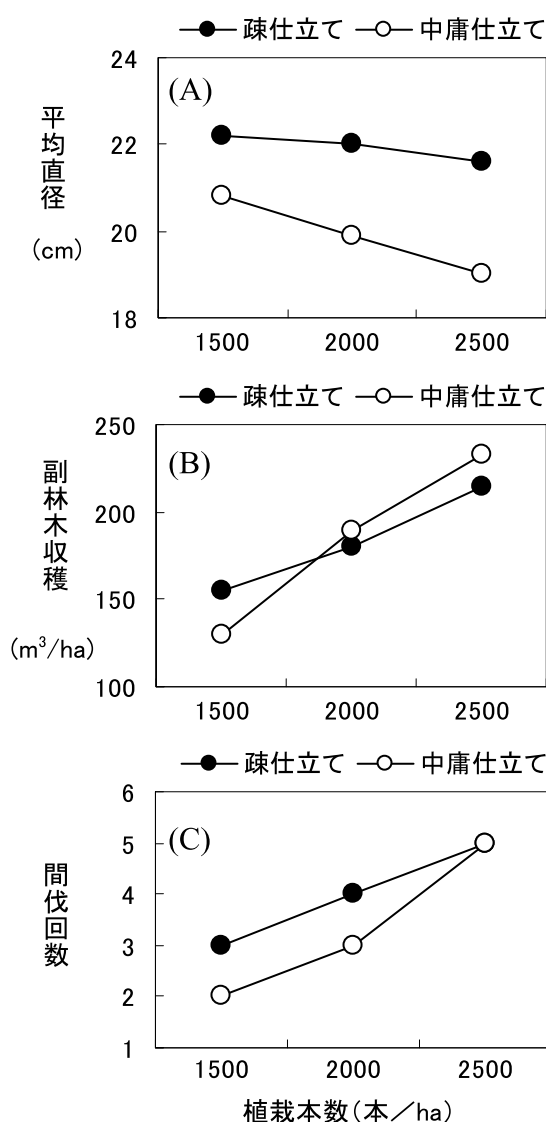
\* 収穫予測あり；\*\*収穫予測なし

例えば、より早期に大径材生産を目指すならば、低密度植栽で、疎仕立ての方が良いだろう。（図－1A）。一方、間伐時の収穫を多く期待する場合には、植栽本数を多くする（図－1B）。また、なるべく間伐回数を減らしたい時には、植栽本数を少なく、仕立て方は中庸の施業体系を選ぶ（図－1C）。植栽

箇所の近隣林分や過去の経歴から判断し、病虫獣害などの発生が予想される場所では、危険を低減するために、伐期を短く植栽本数を多めにする。

このように、これから自分の山にカラマツを植えようとした場合に、将来の収穫目的（何に用いるのか）や、収穫目標（間伐による収穫をどれだけ見込むのか）、また仕立て方をどのようにするか（どれだけ間伐時に収穫するか）を判断することによって、それに適合した、あるいは類似した施業体系図や収穫予測表から収穫予測することができる。しかし、さらに細かく施業方法を試行錯誤により検討しようとした場合には、これらの図表だけでは少し柔軟性に欠ける。そのような時には、手引き書の巻末に添付した収量－密度図を使用すれば、多様な予測が可能となる。この図表の使い方は少し込み入っているが、手順さえ押さえれば意外に簡単に使いこなすことができるだろう。

以下に具体的な例を示しながら、収量－密度図の使用方法を解説する。



図－1 施業体系図による収穫予測の比較：  
(A) 平均直径；(B) 副林木（除・間伐木）収穫；(C) 間伐回数

### 収量-密度図のあらまし

#### 最多密度線と収量比数線

収量-密度図は両対数軸で表される。横軸は林分の積算本数 (N 本/ha)、縦軸は林分の積算材積 (Y m<sup>3</sup>/ha) である。収量-密度図は、それぞれ初期本数毎に一枚ずつ作られている。初期本数は、この場合植栽本数密度のことである。どの収量-密度図も、密度管理図と同様の最多密度線を有している。最多密度線とは、これ以上詰められないほど過密な状態であることを示す線である (図-2)。この状態に対して過密状態がどの程度であるかを示した値を収量比数という。ある林分の収量比数が0.8だった場合、その林分と同じ上層高の最も過密な林分に対して、詰め込み度合い (材積の比率) が8割程度であることを示す。収量比数は  $R_y=0.8$  というように示され、同じ収量比数を持つ林分の点を結んだ線を収量比数線と言い、最多密度線に対して平行になる。理論上、最多密度線上は  $R_y=1.0$  となる。

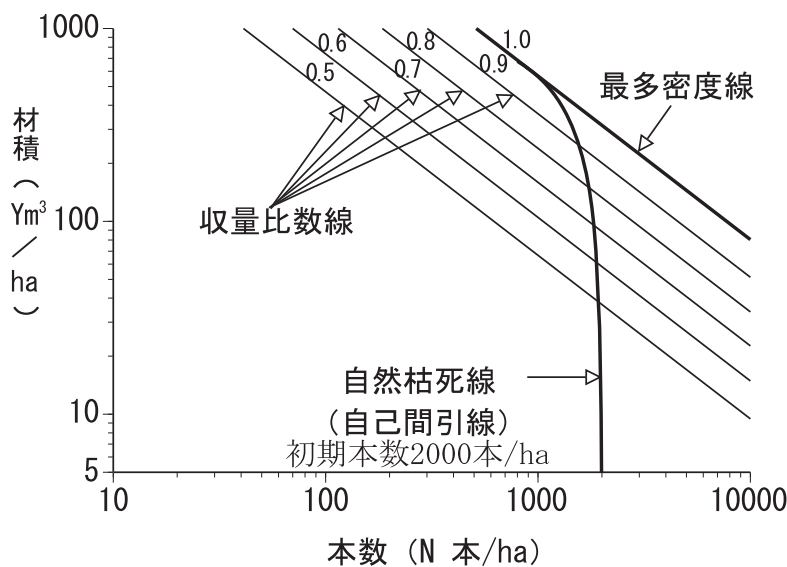


図-2 収量-密度図に使用されている主な線の名称  
 最多密度線および収量比数線は各収量-密度図に共通で使用される  
 自然枯死線(自己間引線)は初期(植栽)本数によって異なる

#### 自然枯死線 (自己間引曲線)

収量-密度図は、植栽本数密度に対応した自然枯死線を一本持っている。図-2に示された、垂直方向に伸び、最多密度線と曲線で接している線である。図-2に描かれたのは初期本数が2,000本の例である。2,000本で植栽された林分密度と林分材積は、この自然枯死線上の横軸に近い点から出発し、林齢が進むに従って上方に移動していく。最多密度線と接した後は、最多密度線上を左斜め上方に向かって推移する。どのような初期本数であっても、自然枯死線上の点は間伐などを行っていない林分密度と林分材積を表している。

#### Y-N曲線

収量-密度図の核となる線はY-N曲線 (図-3A) である。Y-N曲線は、ある時点における林分の大きな個体から順に積算した積算材積 (Y) と積算本数 (N) の関係を示したものである。紙面の都合上詳しい解説は省略するが、YとNの関係が決まれば (Y-N曲線の位置や形が決まれば)、林分の径級分布が決まる。林分の密度・材積・収量比数は一つの点から読み取るのに対して、林分の径級分布は一本の曲線によって表現されていることに注意してほしい。材積も本数も大きな個体から積算するので、曲線の左下の部分は大きな個体のみ合計値を示し、曲線の右上の部分は小さな個体まで合計した値を示している。例えば、図-3Aで、点aは直径36cm以上の個体まで積算した密度・材積を示し、点bは直径30cm以上の個体まで積算した密度・材積を示し、点cは直径20cm以上の個体まで積算した密度・材

積を示す。

小さな個体まで数えれば密度が非常に大きくなる天然林と比較し人工林では植栽された樹木の密度はせいぜいヘクタールあたり数千本である。従って、大きな個体から材積・本数を積算するにつれて右上へ伸長するY-N曲線は、林分全体の植栽木を合計したところでそれ以上のびないことになる。つまり、人工林のY-N曲線は右上に端点を持ち、その端点は林分全体の密度・材積・収量比数を示している。

前述のように、植栽してから間伐せずにおいた林分全体の密度・材積を示す点は自然枯死線上を上方に動く。林分全体の材積が増加するにつれて（密度が減少するにつれて）、林分の樹高（正確には上層高）も増加する。収量-密度図には林分全体の密度・材積と樹高がどのように対応しているかも示されている。例として、樹高が10m、20m、30m、36mの場合について見てみよう。図-3B中に○印で示された点は、初期本数2,000本で植栽し間伐しない状態で樹高が10m、20m、30m、36mになったときの林分密度・林分材積を示している。そして、これらの点から左下にのびているY-N曲線がそれぞれの林分の径級分布を示している。

#### 等限界直径線

等限界直径線は、ある直径階以上の個体がヘクタール当たり何本あるかということを示した線である。前述のように、一本のY-N曲線には、林分内の最大直径個体から特定の直径の個体まで積算した密度・材積を示す点が並んでいる。林分全体の密度・材積を示す点が自然枯死線上を動くときに、特定の直径まで積算した密度・材積を示す点がどのように動くかを示したのが等限界直径線である。等限界直径線は図-4で右側に大きく湾曲した直線で描かれている。例えば、樹高16mのY-N曲線と直径14cmの等限界直径線との交わった点の座標を読むと、この林分では14cm以上の個体が約900本あり、その材積合計は140 m<sup>3</sup>程度であることがわかる。

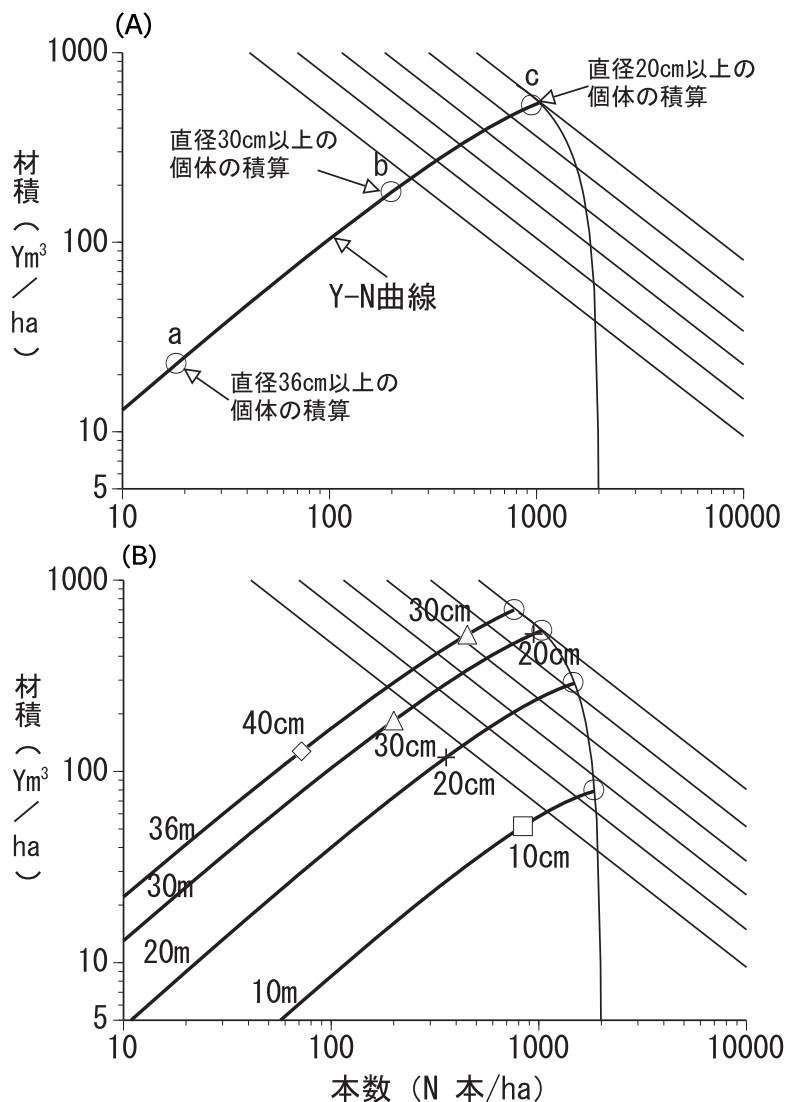


図-3 Y-N曲線：(A)ある一林分の様子を表したY-N曲線；(B)初期本数2000本で間伐をしていない場合に樹高が10m、20m、30m、36mになったときのY-N曲線  
それぞれ右端の自然枯死線上の点が林分密度・林分材積を、Y-N曲線上の点が直径階分布（□：10cm以上，+：20cm以上，△：30cm以上，◇：40cm以上）を示す

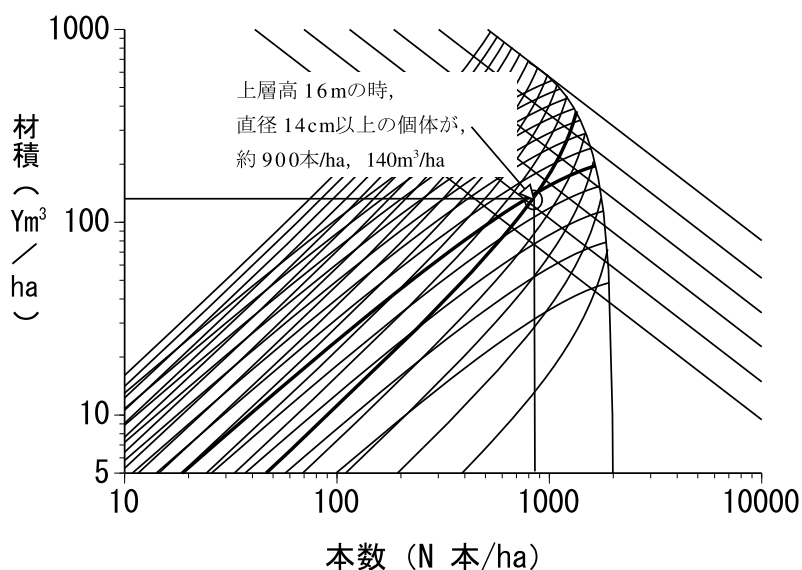


図-4 等限界直径線を書き入れた状態  
 太い線で示されたのは、上層高16mのY-N曲線と、14cm以上を示す等限界直径線  
 垂直・水平方向の線は、上記Y-N曲線と等限界直径線の座標をわかりやすくするための補助線

### 間伐を行った林分の将来を予測する

ここまで収量-密度図を構成する線について説明してきた。ここからは、この収量-密度図の紙面上で、現在の林分状況を判断したり、将来的な収穫予測を行ったりする方法を説明する。

例として地位指数25（40年生時上層高を基準）のカラマツ林分において、植栽本数2,000本/ha、疎仕立てでの施業を考える。今回の手引き書の疎仕立て施業体系に従い、収量比数が0.7程度になったときに間伐を行うこととした。間伐の強度は間伐後の収量比数が0.6程度になるようにした。初回間伐を行うまでは、植栽本数に対応した収量-密度図を見ればよい。植栽本数2,000本/haに対応した収量-密度図を見ると、上層高が12mの時に収量比数が0.7を越えるのでここで間伐することにする。この時の林分密度はだいたい1,800本/ha、林分材積は110 m³である。地位指数25の林分では林齢12年で上層高がほぼ12m（11.9m）になるので、林齢12年時に間伐することになる。

この林分に30%の全層間伐を行うと、Y-N曲線はその間伐率の分だけ左斜め45度下方向に移動する。間伐後の収量比数は約0.58になる（図-5）。ここで注意しなければならないのは、間伐をするとY-N曲線の端点が2,000本植栽に対応した自然枯死線から離れてしまうため、間伐したときからはこの図は使えないという点である。異なる植栽密度に対応した収量-密度図を比べて、間伐後の林分密度・材積が最も自然枯死線に近くなるものを選びそれを使用する。今回の例では、間伐後の密度・材積は、植栽が1,500本に対応した収量-密度図の自然枯死線に一番近いので、この収量-密度図を使用する（図-6）。

間伐後の林分は、林分材積は増えるが林分密度は変化しないとみなせるので、Y-N曲線はまっすぐ上方へ移動する。地位指数25、植栽本数2,000本/haの林齢10~20年生の林分成長量は、収穫予測表から判断するとおおよそ8.5 m³/年である。その分を順次加算してやると、66年後の林齢18年生の時に材積が約130 m³/haで、収量比数が0.7となり、再び間伐の時期を迎える。このときの林分密度・材積

は、上層高14mのY-N曲線の端点に近い。そこで、上層高14mのY-N曲線から林分の状況を読み取ることができる。等限界直径線とY-N曲線との交点を読み取ると、直径14cm以上の個体がおおよそ600本/ha、直径16cm以上の個体が200本/ha程度成立していると予測することができる。

以後、同様の手順を繰り返して主伐までの出材積や径級階を予測することができる。収量-密度図が500本/ha植栽から用意されているのは、幾度かの除間伐等の保育施業を行った結果、林分密度および林分材積が、500本/ha植栽の自然枯死線に近い状態になった林分にも対応するためである。

また、今回の手順は植栽本数密度から将来の収穫を予測している一方で、現在の山林の林分密度と林分材積の状態に、一番近い自然枯死線を有する収量-密度図を探し出せば、後の手順は上記と同様に進めることができる。

収量-密度図による収穫予測方法を説明してきた。この方法は紙の上だけで将来収穫される材積や本数だけでなく、径級分布も予測できるので大変便利である。しかし、自分の所有する山林の現況と収量-密度図の自然枯死線とがなかなか合わないという場合もあるだろう。林業試験場ではこれからは収量-密度図の利用を紙の上だけではなくさらに使いやすい道具（例えばパーソナル・コンピュータなど）上での活用展開し、利用者が柔軟に収穫予測を行えるようなシステムを作ることを計画中である。

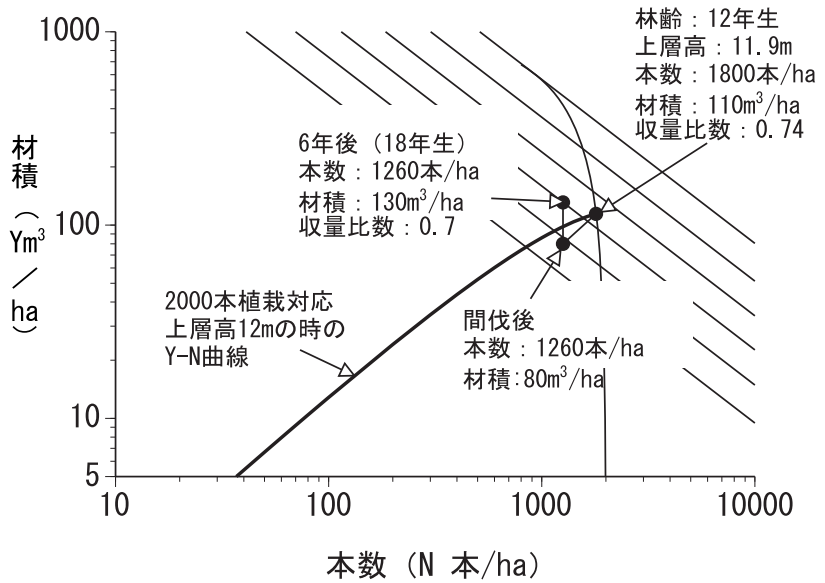


図-5 地位指数25の土地に2,000本植栽されたカラマツを疎仕立てで施業する場合の林分の動き  
 図中の●は、林分密度・材積を示す

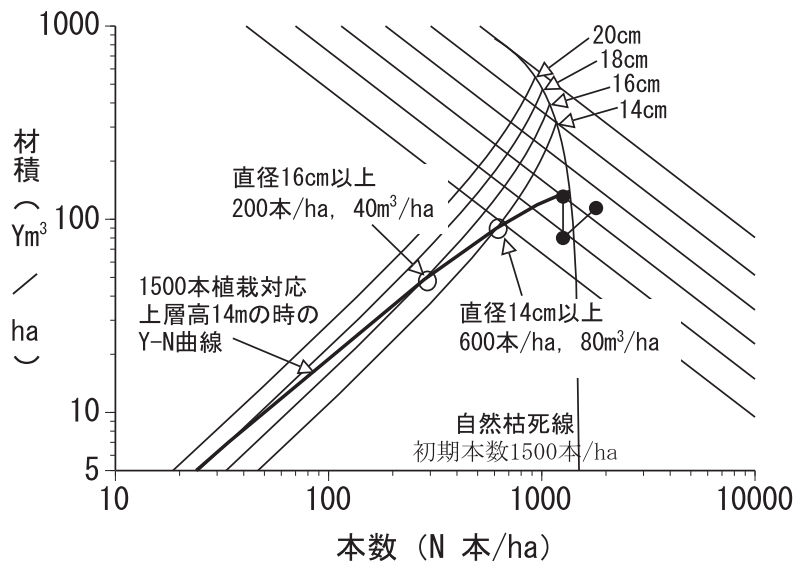


図-6 間伐6年後のY-N曲線を1500本植栽対応の収量-密度図にあてはめた場合  
 等限界直径線との交点から、径級および材積の分布を推定することができる