

# 京都大学北海道研究林標茶区のカラマツ樹高曲線の再検討

北海道研究林 岸本泰典

## 1. はじめに

北海道研究林標茶区の森林の約 3 割はカラマツ造林地である。その現存量、あるいは主伐及び間伐収穫量を正しく把握するため、精度の高い推定式を作成し、運用することが必要である。

これまで、和田ら(1982)や和田・岡部(1984)によって作成された、1977～1979 年に伐採された約 150 本のカラマツを用いた以下の材積式と樹高曲線式が運用されてきた。しかし、用いられた試料が直径 30cm 未満、樹高 18m 未満のものしかなかったため、林齢 40 年を超え、直径 50cm 近くにまで成長している 2017 年現在のカラマツ林で、これまでの式を運用していくことは、正確な数値を得る妨げになる可能性がある。そこで、標茶区の固定標準地でこれまでに測定されてきた樹高と胸高直径のデータを整理し、大径木も含めたより精度の高い標茶区のカラマツ材積推定のための樹高曲線式の再検討を試みた。

材積式  $\log V = -4.189107 + 1.900388(\log D) + 0.912471(\log H)$  和田ら(1982)

樹高曲線式  $H = 1.3 + \left( \frac{D}{1.2264 + 0.2126D} \right)^2$  和田・岡部(1984)

V=材積 (m<sup>3</sup>)、D=胸高直径 (cm)、H=樹高 (m)

## 2. 材料と方法

調査地は標茶区 2,3,4,8,9,11 林班のカラマツ造林地内の固定標準地である。データは、1980 年から 2017 年の間に測定されたものである。1997 年から 2013 年の期間は樹高の記録が無いが、林齢としては 9 年生から 61 年生のものが概ね連続して揃っている。

測定項目は胸高直径と樹高である。胸高直径は周囲長メジャーを用いて測定し、樹高の測定には測幹、ブルーメライズ測高器、レーザー距離計 LaserAce300 を用いた。同一の調査地で数年おきにデータが得られている場所において、1980 年から 1996 年までは概ね同一個体の追跡データとなっているが、2014 年以降に測定されたデータは同調査区内からランダムに選出された個体のデータである。

データの扱いにおいて、①間伐等により樹冠層の個体が途中で消失している調査区、②同じ林齢で他と比べて明らかに成長の悪い調査区、③継続した調査回数が 2 回以下の調査区、④直径と樹高の割合である形状比が 40 未満もしくは 300 以上となっている成長異常個体についてはデータセットから省き、最終的なデータ数は 33 調査区、940 サンプルとなった。

適合する樹高曲線式を選定するにあたり、決定変数が胸高直径 (D) のみで計算が容易であり、比較的によく用いられる次の 5 式を選んだ。なお、同じ式でも全樹高 (H) のほかに胸高以上の樹高 (H-1.3) を用いた式もあるので、原式と変式の 2 式があることになり、以下の合計 7 式となった。

①Näslund 式

$$H = 1.3 + \left( \frac{D}{a + bD} \right)^2$$

|                           |                                           |
|---------------------------|-------------------------------------------|
| ②同上変式                     | $H = \left(\frac{D}{a + bD}\right)^2$     |
| ③逆数式                      | $H = 1.3 + \left(\frac{D}{a + bD}\right)$ |
| ④同上変式                     | $H = \frac{D}{a + bD}$                    |
| ⑤Henricksen 式             | $H = a + b \log D$                        |
| ⑥Stoffels and van Soest 式 | $H = aD^b$                                |
| ⑦Torey 式                  | $H = 1.3 + aD - bD^2$                     |

(a、b は定数)

これらの樹高曲線式について、最小二乗法によってその定数を決定し、回帰式を求めた。得られた回帰式に基づき、樹高の実測値と推定値から残差の標準誤差  $\sigma$  および残差の百分率誤差 (誤差率)  $P$  を求め、精度の比較を行った。また、回帰分析によって得られた決定係数  $R^2$  も樹高曲線式選定の基準とした。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (H_i - \hat{H}_i)^2}{n - p}}$$

$$P(\%) = \frac{\sigma}{\bar{H}} \times 100$$

( $\bar{H}$ =平均樹高、 $H_i$ =個々の樹高、 $\hat{H}_i$  = 樹高推定値、 $n$  = サンプル数、 $p$  = 定数の数)

### 3. 結果と考察

胸高直径と樹高の実測値の散布図、①～⑦の回帰曲線および和田・岡部(1984)による樹高曲線、誤差率と決定係数  $R^2$  を図 1 および以下に示す。カラマツが成長し大径化していくにつれて、①～⑦の回帰曲線と旧樹高曲線との差が大きく開いていくことが示された (図 1)。和田ら(1982)による材積式では、直径と樹高の 2 変数を用いて材積を推定するため、樹高が過小推定となれば材積も過小推定となる。

|                                                         |             |              |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------|
| ① $H = 1.3 + \left(\frac{D}{2.1645 + 0.1446D}\right)^2$ | $P=14.91\%$ | $R^2=0.8436$ |
| ② $H = \left(\frac{D}{1.9088 + 0.4167D}\right)^2$       | $P=14.95\%$ | $R^2=0.8430$ |
| ③ $H = 1.3 + \left(\frac{D}{1.0482 + 0.0127D}\right)$   | $P=15.29\%$ | $R^2=0.8373$ |
| ④ $H = \frac{D}{0.9027 + 0.0146D}$                      | $P=15.09\%$ | $R^2=0.8404$ |

$$\textcircled{5} H = -16.49 + 11.364 \log D$$

$$P=16.22\%$$

$$R^2=0.8151$$

$$\textcircled{6} H = 1.8267D^{0.7342}$$

$$P=15.55\%$$

$$R^2=0.8306$$

$$\textcircled{7} H = 1.3 + 0.9051D - 0.0067D^2$$

$$P=15.15\%$$

$$R^2=0.8402$$

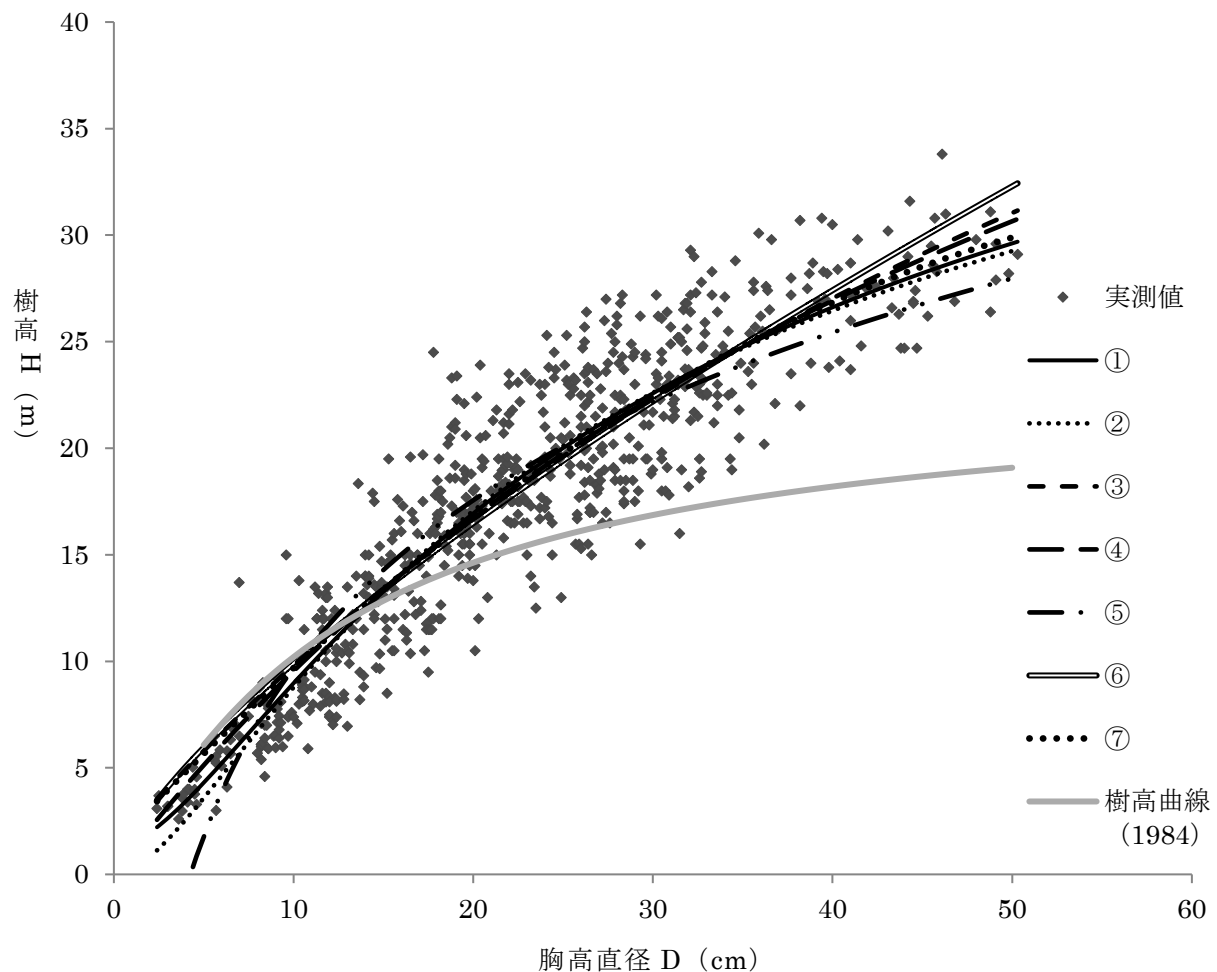


図 1 胸高直径と樹高の散布図および各回帰曲線

各回帰式に大きな差異は認められなかったが、誤差率と相関係数から、①の Näsland 式が北海道研究林標茶区のカラマツ樹高曲線式として①～⑦式の中では最も適合する式であることが示された。

また、林齢と樹高の関係を散布図に示し、対数近似による近似曲線を求めると、上述した胸高直径と樹高の決定係数とほぼ同じ値が得られた (図 2)。

しかし、図 1 と図 2 の両方において、実測値の散布図のばらつきは大きかった。これは、サンプル数は多いながらも同じ調査区内で同じ個体を追跡調査できた例が非常に少ないことや、樹冠層に達していない個体のデータも含まれていることによるものと考えられ、樹高曲線を作成するためのデータセットとして好ましいと言えるものではないが、固定標準地調査の業務内

で得られたデータを用いたため仕方のない部分でもある。

また、今回のデータセットは、研究林内の様々な林分の調査区から得られたデータであり、同じ直径階級の個体間での樹高のばらつきは局所的な立地条件が、同じ樹高の個体間での直径のばらつきは施業管理や枯死率の違いによる立木密度の差異がそれぞれ影響していることも考えられる。

安藤貴(1968)によると、樹高は立木密度の影響を受けることは少なく、平均胸高直径、平均胸高断面積、平均幹材積が密度に影響され、低密度であるほど成長が促進される。よって、本報告の樹高推定曲線を用いて胸高直径から樹高を推定する際、施業管理が不十分で直径成長が悪い林分から得られる推定値は過小に、反対に施業が十分に行われてきた林分や枯死木が多い林分から得られる推定値は過大となる恐れがある点には注意が必要である。

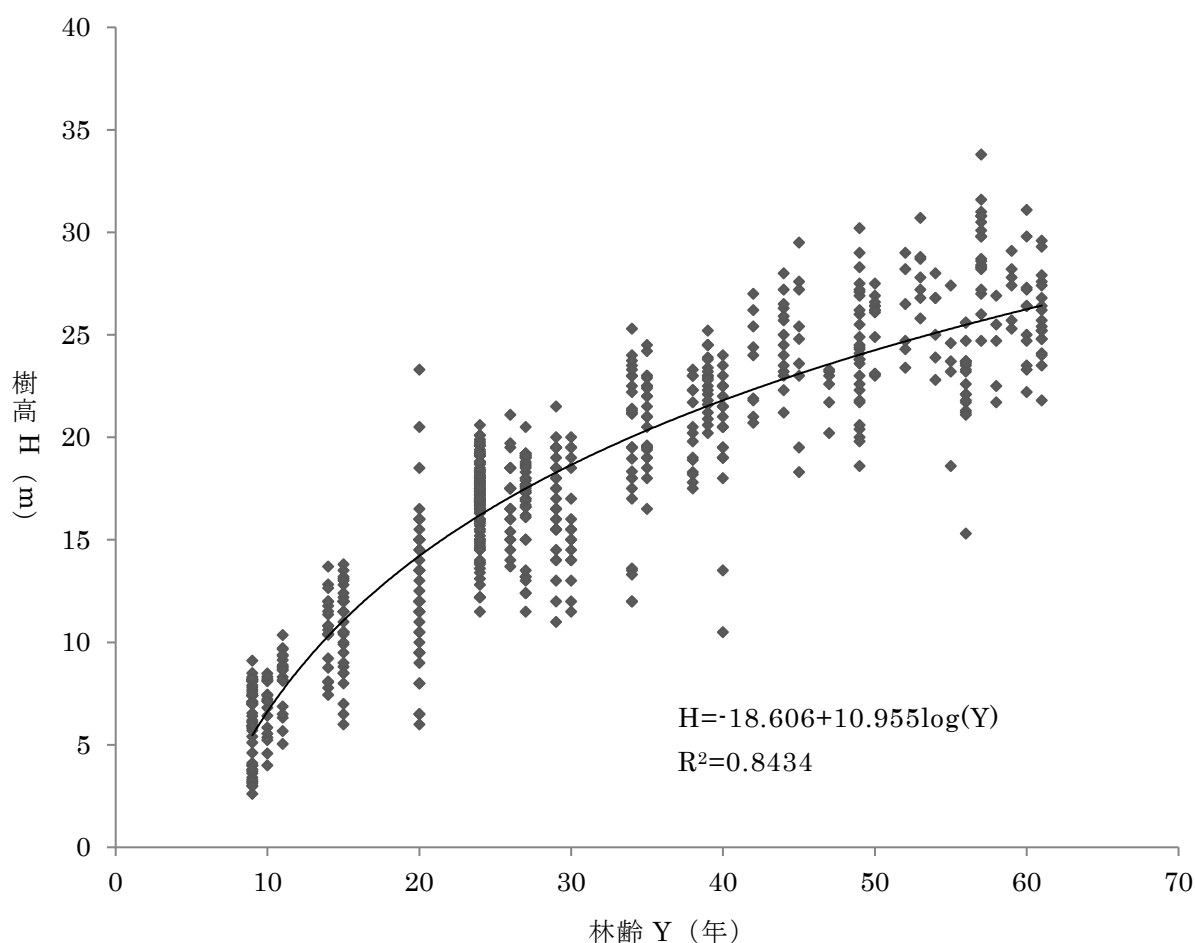


図2 林齢と樹高の散布図および近似曲線

材木の売り払い等に関する業務では直径階級ごとの材積が求められるため、直径と樹高の関係式を用いることが適当である。しかしながら、林齢と樹高にも高い相関関係 ( $R^2=0.8434$ ) が認められることから、ドローン等を用いて対象林分の立木本数を知ることができれば、林齢と本数のみから広い範囲の材積を簡易的に推定できるようになる可能性も示された。

また、現存の本研究林内で最大クラスのカラマツのデータを加えても、樹高曲線はまだ頭打ちの形にはならなかった。カラマツは天然の自生地においては直径 1m に達することもある樹種であり、造林地においても直径 60cm 以上に成長する。今後も継続して固定標準地調査のデ

ータを追加していくことで回帰式作成のデータが充実することが期待されるが、本研究林の現状として、カラマツ大径木は野鼠による樹皮食害や芯腐りによって風倒被害に遭うことも多く、まとまったデータの追加は困難かもしれない。

#### 4. まとめ

検証により、現在の北海道研究林内のカラマツ林において、和田・岡部(1984)の樹高曲線を運用すれば推定樹高と実際の樹高との間に大きな誤差が生じ、それによって算出される材積は実際よりも過小推定となることが示された。よって、今後当面は①～⑦式の中で最も適合する式であった①Näsland 式の樹高曲線式を用いて樹高推定を行っていくことを提案する。

また、材積式については大径木の材積の実測値が無いため現段階で検証することはできないが、今後機会があれば実測を行い、胸高直径、樹高、材積の関係式もサンプルを増やしていければと思う。

最後に、今回まとめた固定標準地のデータは、多くの教員及び職員の尽力によって蓄積されてきた貴重なデータである。この場を借りて深く感謝申し上げます。

#### 5. 引用文献

安藤貴 (1968) 同齢単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林業試験場研究報告 210 1-153.  
和田茂彦・光枝和夫・谷口直文・大牧治夫・山内隆之・渡辺康弘 (1982) カラマツ立木幹材積表の作成. 京大演習報 15 108-113.  
和田茂彦・岡部宏秋 (1984) 立木材積計算式の簡易化について. 業務参考資料集 '84 1-12