

木の個体差を調べてみよう！

性能部 構造・環境グループ 村上 了

■はじめに

木は地球上のほとんどの地域で育ち、その存在は人間にとって生活のさまざまな面で欠かせないものです。森林は生態系を支え、木材は建築や製品の材料として使用され、二酸化炭素の吸収にも寄与しています。木材の利用は古代から続く伝統的なものであり、今日においてもその重要性は変わりません。

木材の品質は、育った環境や種類、木自体の特性によって大きく左右されるため、正確な分析と理解が必要です。特に、木材の密度は製品の強度や耐久性に関わるため、重要な研究対象となっています。

毎年木が上へ進展するのを支えるために木は一年ごとに横方向へ成長します。横方向の成長は季節によって変わり、春から夏にかけては急速に成長し、秋にはゆっくりになり、冬には成長が止まります。このため、木の横方向には年輪が形成されます。

年輪の中で、春から夏にかけて早く成長した部分を「早材」、秋にゆっくり成長した部分を「晩材」と呼びます。晩材は早材に比べて密度が高いのが特徴です。また、木の成長量は、①木の種類、②育っている環境、③木の樹齢によって毎年異なります。

この違いは、木製品を作る際に考慮する必要があります。つまり、①どの種類の木なのか、②どこで育った木なのか、③木のどの部分から切り出された材料なのかによって、木製品の「密度」、「硬さ」、「強度」が変わってしまうのです。

この文章では、北海道で植えられているアカエゾマツ間伐材の密度に焦点を当て、同じ林分から切り出した木の個体差を線形混合モデルという統計手法を使って調査しました。

■年輪密度の解析

津別町の道有林から入手したアカエゾマツの間伐材を用いて密度解析を行ったデータを調査に使用しました。試料に関する詳細は過去の報告りを参照ください。

入手した間伐材（3.65 mで玉切り、一番玉）の末口から厚さ10 cm程度の円板（図1）を採取し、その円板から髄を含む厚さ2mmの切片を作製しました。この切片をX線で撮影し、X線透過画像（図2）を取

得します。この画像の色の濃淡から密度を推定します。具体的には図2の場合、白い箇所がより密度の高い箇所になります。

髄から樹皮までの密度の変化を調べた結果を図3に示します。一例として、グラフの曲線上に示された赤い点が年輪の境界にあたります。2つの赤い点の間が1年間の成長量を示し、そのX軸上の距離が年輪幅となります。このグラフを元に、1年間の平均的な年輪の密度や年輪幅など、さまざまなデータを抽出します。

図4に1年ごとの平均年輪密度を示します。髄からの年輪数が15~20年輪以下を未成熟域として、それ以降を成熟域として扱います。この未成熟域は成熟域と異なり、木の繊維の長さが短かったり、強度が低かったりします。また、アカエゾマツ間伐材の特徴として、未成熟域の髄近くで密度が高いことが挙

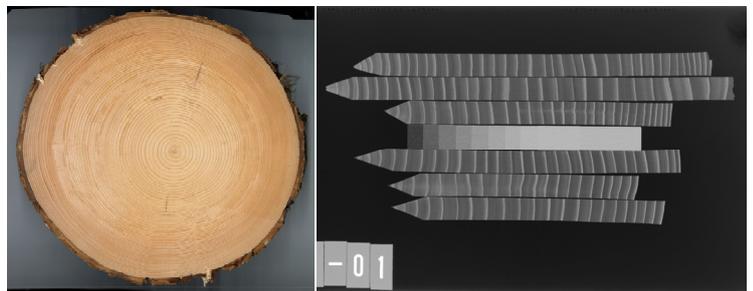


図1 切り出した円板

図2 木材のX線透過画像

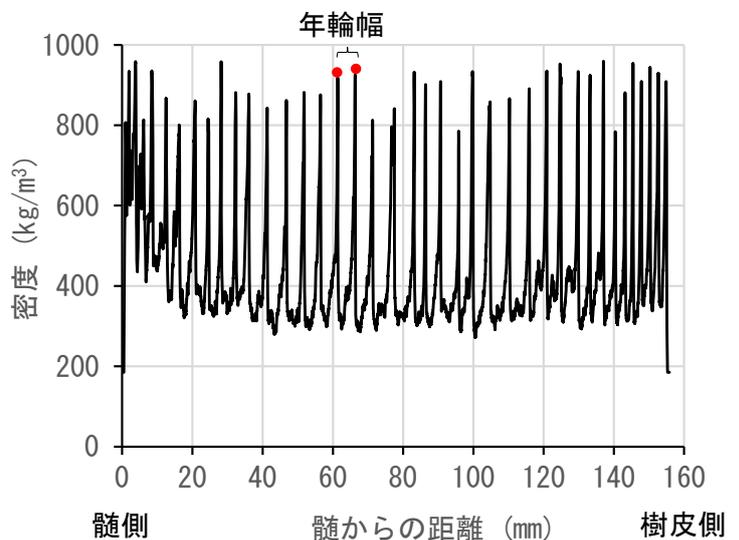


図3 髄から樹皮までの密度の分布

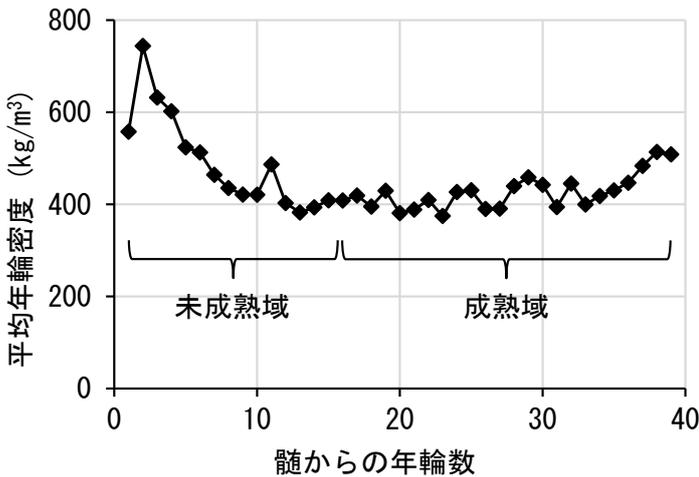


図4 平均年輪密度の推移

げられます。

以降では成熟域の密度の解析について説明します。そして、この成熟域の密度において、同じ地域で入手した材料にはどれくらいの個体差があるのかについて調べます。

■一つの林分から伐採された材料の個体差

図5に津別町産アカエゾマツ間伐材15個体について成熟域とみなせる髄からの年輪数15年以上のデータをプロットしたものを示します。赤の直線は平均年輪密度と髄からの年輪数の回帰曲線です。このグラフを見る限り、成熟域では年輪数が大きくなるにしたがって密度が上がっていると考えられます。

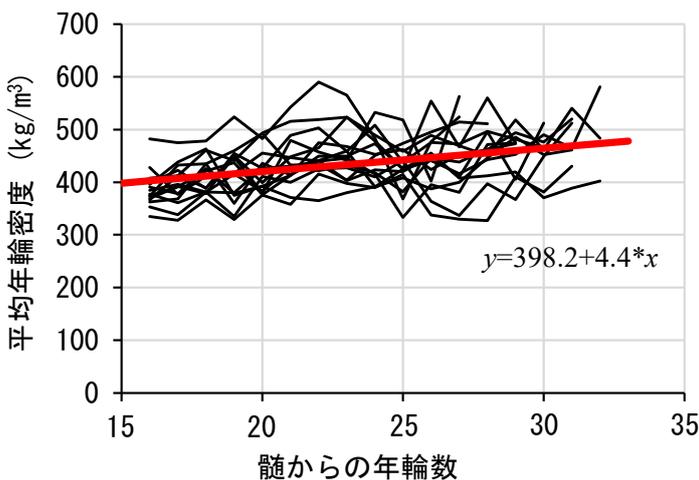


図5 成熟域の年輪密度の推移(1林分, 15体)

次に、個体によってどれくらい誤差があるのか見ていきます。個体ごとに各年の年輪データがありますので、年輪データは個体に紐づけられた下層のレイヤーだと考えることができます(図6)。

ここでは、①個体差、②一つ一つの年輪データを測定する時に生じる誤差(以下、観測誤差)の二つ

を考えます。

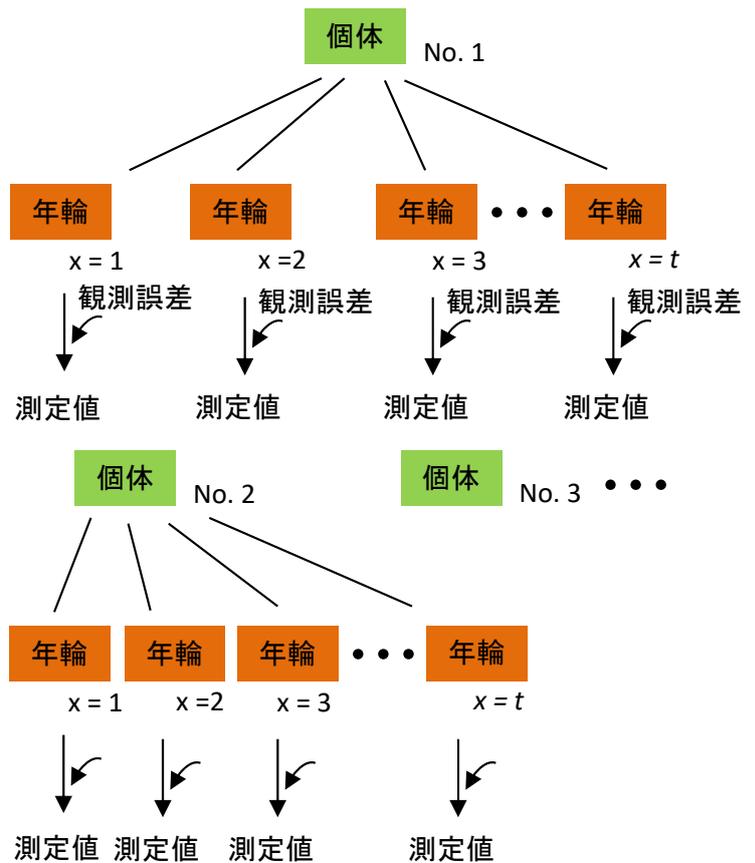


図6 測定値一年輪一個体の関係

線形混合モデルを使うとを個体差と観測誤差と分けて考えることができます。モデルは式(1)~(3)で表します。

$$y = a_{\text{個体}} + b * x + \epsilon_{ii} \quad \text{式(1)}$$

$$a_{\text{個体}} = \text{Normal}(a_{\text{全体平均}}, \sigma_{\text{個体}}) \quad \text{式(2)}$$

$$\epsilon_{ii} = \text{Normal}(0, \sigma_{\text{観測誤差}}) \quad \text{式(3)}$$

式(1)のyは平均年輪密度、 $a_{\text{個体}}$ は特定の個体の切片、bは傾き、xは髄からの年輪数、 ϵ_{ii} は観測誤差を表します。式(2)で示すとおり $a_{\text{個体}}$ は個体と関係ない共通の全体平均 $a_{\text{全体平均}}$ と個体間のバラツキを表す標準偏差 $\sigma_{\text{個体}}$ の正規分布で表すことができます。また、モデルでは全ての個体で同じ傾きbを持つと仮定しています。

図7にモデル式の結果、表1に誤差の推定値を示します。図5に示した回帰曲線の切片と傾きとモデル式の結果はほとんど変わりませんでした。個体差と観測誤差はそれぞれ33.1、37.2ですので、個体差、観測誤差が切片に対してそれぞれ10%弱あることが分か

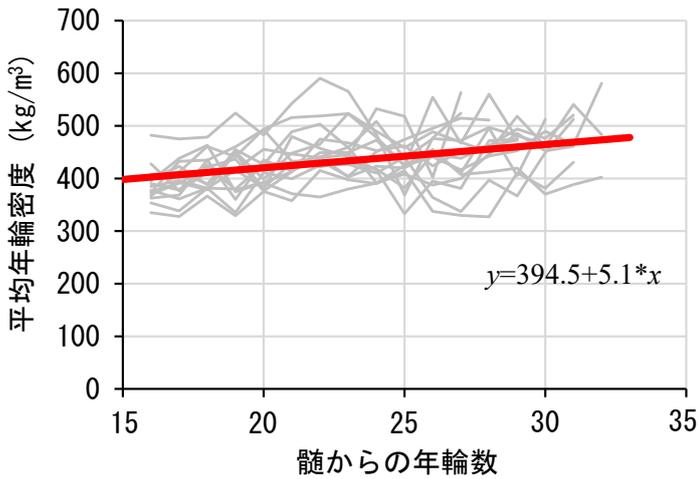


図7 線形混合モデルの結果

表1 線形混合モデルによる誤差の推定値

	推定値	下限値	上限値
$\sigma_{\text{個体}}$	33.1	22.4	48.9
$\sigma_{\text{観測誤差}}$	37.1	33.7	40.9

* 下限値, 上限値はそれぞれ95%信頼区間の値を示す。

りました。

すなわち今回のモデルから、年輪密度は個体によって全体の平均からプラスマイナス10%程度、違いがあることが分かりました。同様に、データ自体のバラツキ（気温や降水量等環境の影響）、測定の不確実性（X線を照射した時のノイズや現像した時のノイズ）によっても10%程度誤差があることが分かりました。

■おわりに

木材の年輪密度のデータについて線形混合モデルを用いてどのように表現できるか、個体差に起因する誤差はどれくらい生じるものなのかを調べ、研究のヒントを探りました。今後、よりモデルを精査して、地域ごとの密度と気象要因との関連性等についても調べていきたいと考えています。

■参考文献

- 1) 村上了：アカエゾマツ間伐材の密度解析：北海道の林木育種 65 (2), 11-14 (2022).
- 2) 久保拓弥：データ解析のための統計モデリング入門. Vol. 267. 岩波書店, (2012).