

210 年生スギ人工林の成長解析： 三重大学附属平倉演習林藤堂スギ林分の事例

唐澤 丈(三重大生資)・吉井達樹・沼本晋也・松村直人(三重大院生資)

日本では木材価格の低下や、所有者・境界の不明瞭化などの理由から適切な管理が行われていない人工林が増えている。一方、管理コストを低く抑えることができ、環境保全的効果が高いとされる長伐期施業の導入も進んでいる。しかし、既存の収穫表では長伐期に対応できておらず、長期間継続測定されている高齢林分のデータも不足している。本研究では、三重大学附属平倉演習林、210 年生藤堂スギ林分の 5 回にわたる毎木調査データを用いて成長解析を行った。直径成長に関しては、現在も成長が持続しており、樹高成長に関しては成長が頭打ちの傾向にあることが判明した。そのため、林分の蓄積量は増加を続けている。また、藤堂スギ林分は成長差から沢側と山側に区分でき、それぞれの直径、樹高の間には有意な差があった。

キーワード：長伐期施業、スギ人工林、収穫表、三重県

I はじめに

近年、環境問題や地域活性化など、持続可能性への関心の高まりや頻発する大規模災害の防止機能といった期待から、森林の持つ様々な公益的機能に注目が集まっている(3)。これらの機能を持続的に発揮するためにも森林の適切な管理、経営が必要である。また、戦後の高度経済成長期に植林されたスギ・ヒノキ人工林を中心に、蓄積量が増加している。この豊富な森林資源を循環利用することで、林業の成長産業化と森林の適切な管理を両立していくことが求められている(3)。しかし、木材価格の低下、高齢化による林業の担い手不足、小規模・分散的な所有構造、森林所有者の世代交代による所有者、境界の不明瞭化、所有者の森林への関心の低下といった理由から長期的に管理、経営していくことが難しい現状にある。このような消極的な理由から長伐期施業への移行を考える林業事業者が増えている。長伐期施業とは従来の 40~50 年で皆伐し、一斉造林する短伐期施業に対して、2 倍程度の伐期を目標に経営・管理する手法である(4)。長伐期施業は新植と育林に掛かる回数が減り、生産費が安く上がる、間伐による収入が見込める、大径材を収穫できる、環境保全的機能の保全効果が高いといった優れた要素がある(4)。しかし、高齢林の成長は地域によって差があり、長期間継続測定されているデータが不足しており、その実態が明らかでない。

本研究では林齢 210 年を迎えた三重大学附属平倉演習林、藤堂スギ林分の過去 5 回にわたる毎木調査のデータを用いて成長解析を行った。

II 対象地概要と測定方法

1. 演習林の概要

三重大学附属平倉演習林は津市美杉町川上に位置する。標高 440m~1,200m、年平均気温約 12.0℃、年平

均降水量約 2,200mm と、津市海岸部と比較すると気温は約 3℃低く、降水量は 1.2 倍ほどである。また、海拔高による気温の差は冬期において著しく、海拔 900m 以上は霧氷に覆われることがある。全域を通じて地勢は急峻で傾斜 40 度以上のところも少なくない。土壌は褐色森林土で、その大部分が BD 型土壌、すなわち適潤性褐色森林土かつ葡行土の性質を帯びている(1)。

2. 調査対象地の概要

調査対象地である 7 林班ろ小班に属する藤堂スギ林分は 1810 年(文化 7 年)植で、2020 年現在 210 年生である。標高は 444~504m に位置し、傾斜角は 5.5~49.6 度と平坦地から急傾斜地までの変化が大きい。調査対象地 0.37ha において過去 5 回毎木調査が行われ、調査年は 1977 年(林齢 168 年)、1989 年(同 180 年)、1999 年(同 190 年)、2009 年(同 200 年)、2020 年(同 210 年)である。最終調査時の総本数は 92 本(うち 2 本はヒノキ)であった。台風被害による風倒・伐倒により、立木本数は年々減少している。また、前回の測定結果によると、本林分は成長の差異から沢側プロット(0.14ha)と山側プロット(0.22ha)に分けることが適切である(6、図-1)。

3. 測定方法

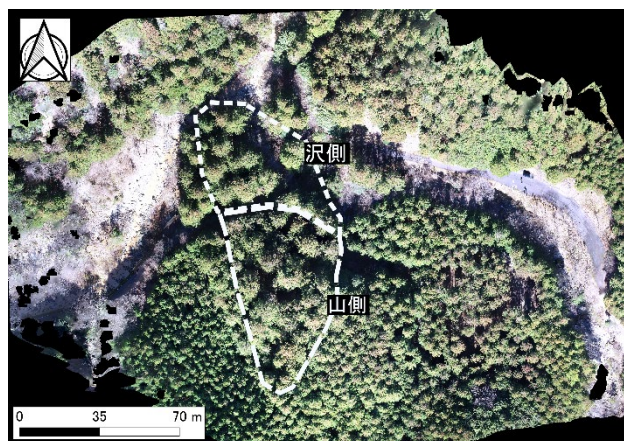
胸高直径測定については、林齢 168 年に 2cm 括約の巻尺が、それ以降については直径巻尺が使用されている。樹高測定については、林齢 168 年に 1m 括約のワイゼ測高器(株式会社マイゾックス、日本)を、180 年および 190 年にはブルーメライズ測高器(Carl Leiss 社、ドイツ)を、200、210 年には Vertex III (Haglof 社、スウェーデン)が使用されている。

KARASAWA Jou, YOSHII Tatsuki, NUMAMOTO Shinya, MATSUMURA Naoto*

Growth analysis of 210 year old Sugi plantation forest: Case study of Todo Sugi stand in Hirakura Experimental Forest, Mie University

nma@bio.mie-u.ac.jp

40年にわたる継続調査のため、調査年によって測定者・測定器具が異なり、測定精度に差があると考えられる(1)。



図ー1. 調査対象地のオルソ写真

Ⅲ 解析方法

毎木調査の結果から林分構造を明らかにするために胸高直径と樹高の頻度分布を図示し、各調査年ごとに林分統計量(解析本数、立木密度、胸高直径(平均、分散、変動係数)、樹高(平均、分散、変動係数)、BA(胸高断面積合計)、平均単木材積、林分材積、相対幹距)を算出する。

次にヘンリクセン式を用い、最小二乗法で回帰させ、各調査年の樹高曲線を求める。

ヘンリクセン式： $H = a + b \times \log_{10} D$

(H: 樹高, D: 胸高直径, a, b: パラメーター)

また、各調査年の相関係数と樹高の分散を算出する。

成長特性の解析では、各調査年の毎木調査データから、連年成長量と成長率を算出し、成長特性を解析する。

直径成長量の解析では、①林齢168年~180年、②林齢180年~190年、③林齢190年~200年、④林齢200年~210年の各連年成長量と期首の直径との関係を回帰分析し、両者の関係を図示する。

立地条件別の比較では沢側・山側を区別して成長特性を解析する。また、両者の胸高直径と樹高の間に有意な差があるか、studentのt検定を用いて検定をする。

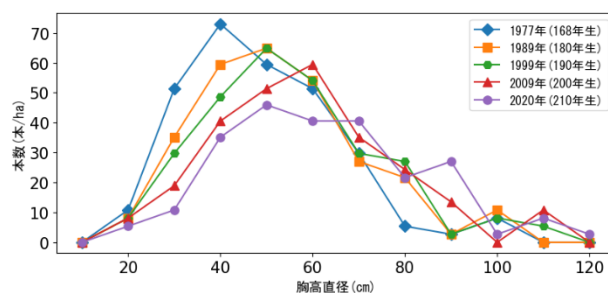
Ⅳ 結果と考察

1. 林分構造の解析

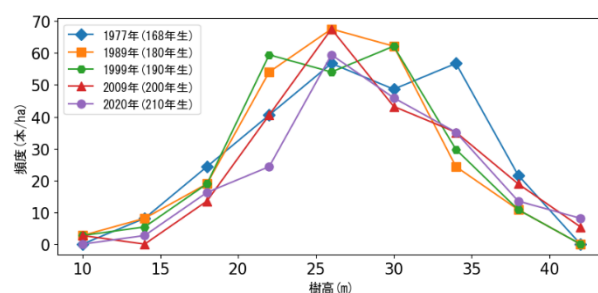
胸高直径の頻度分布(図ー2)では、若齢では分布域が狭く、高齢になるにつれて右下に移行する傾向が見られた。優勢な個体は210年生を迎えた現在でも直径成長量は大きい。一方劣勢な個体の成長量は小さく、優勢木と劣勢木の間で直径の差が大きくなっていることが判明した。

樹高の頻度分布(図ー3)では直径ほど明瞭な変化はみられず、林齢180年以降はほぼ変化がなかった。劣勢木の樹高成長は継続していたが、優勢木では頭打ちになっていると考えられた。

林分統計量(表ー1)を見ると、胸高直径の平均値は増加し続けていた。分散も同様に増加していたが、変動係数によって相対的な散らばり具合をみると大きな変化はなかった。210年生の林分においても直径の成長は継続していることが確認できた。樹高についても平均値は増加傾向にあった。測定器具別でみると、ブルーメライス測高器を用いた林齢180年と190年、及びVertexを用いた林齢200年と210年では大きな変化はなく、樹高の成長は直径より早く頭打ちになったと考えられる。胸高断面積合計、単木材積及び林分材積は増加傾向がみられた。樹高の成長は頭打ちになっていると考えられるので、高齢林における材積の増加は直径の成長に起因していることが明らかとなった。壮齢林の相対幹距は20%をやや下回る値で安定するとされているので(5)、藤堂スギ林分も安定状態に近いと考えられる。



図ー2. 各調査年の胸高直径の頻度分布



図ー3. 各調査年の樹高の頻度分布

表ー1. 林分統計量

| 林齢(年) | 168 | 180 | 190 | 200 | 210 |
|--------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 解析本数(本) | 108 | 105 | 103 | 100 | 90 |
| 立木本数(本/ha) | 292 | 284 | 278 | 270 | 243 |
| 平均胸高直径(cm) | 53.7 | 58.1 | 60.8 | 63.1 | 67.3 |
| 直径分散(cm ²) | 274.9 | 311.2 | 350.4 | 382.1 | 424.6 |
| 直径変動係数(%) | 30.9 | 30.4 | 30.8 | 31.0 | 30.6 |
| 平均樹高(m) | 29.1 | 28.0 | 28.2 | 29.7 | 30.2 |
| 樹高分散(m ²) | 38.7 | 31.7 | 32.2 | 33.2 | 35.6 |
| 樹高変動係数(%) | 21.4 | 20.1 | 20.1 | 19.4 | 19.8 |
| BA(m ² /ha) | 66.2 | 75.3 | 80.8 | 84.5 | 86.4 |
| 平均単木材積(m ³) | 3.1 | 3.4 | 3.7 | 4.2 | 4.8 |
| 林分材積(m ³ /ha) | 896.0 | 965.6 | 1035.1 | 1139.4 | 1158.5 |
| 相対幹距(%) | 20.1 | 21.2 | 21.2 | 20.5 | 21.3 |

BA: 胸高断面積合計

2. 樹高曲線

樹高曲線(図ー4)は、どの調査年においても相関係数0.70~0.80付近で、よい当てはまりを示した(表ー2)。林齢168年以降では曲線に差がなくなったので樹

高成長は頭打ちの傾向にあると考えられる。また、168年生時の頻度分布からも分かるようにワイゼ測高器の測定誤差が大きいことが伺えた（図-3）。

表-2. 樹高曲線と相関係数

| 林齢 | a | b | 相関係数 |
|-----|--------|-------|------|
| 168 | -28.44 | 33.71 | 0.75 |
| 180 | -26.74 | 31.48 | 0.78 |
| 190 | -24.46 | 29.96 | 0.75 |
| 200 | -24.31 | 30.26 | 0.70 |
| 210 | -27.92 | 32.29 | 0.77 |

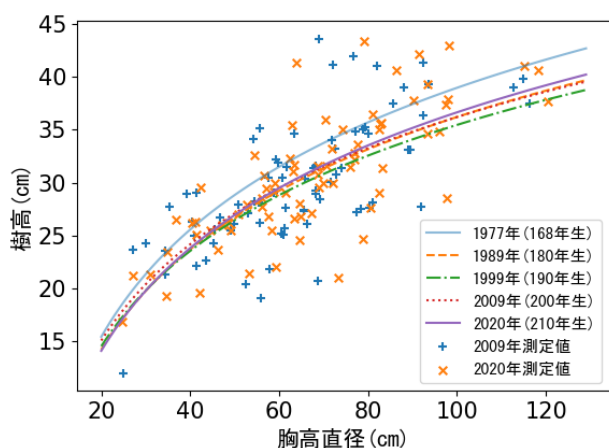


図-4. 各調査年の樹高曲線と測定値(直近2回)

3. 林分の成長特性の解析

直径成長の経年変化（表-3）を見ると連年成長量は徐々に減少しているが、現在も年平均 0.20cm を上回る成長がみられた。成長率も減少傾向にあるが、成長は継続していることが明らかとなった。

樹高成長の経年変化（表-4）では林齢 168~180 年で連年成長量、成長率ともにマイナスの値であった。また、測高器がブルーメライス測高器から Vertex へと変わる林齢 190 年~200 年でも成長率が 5.25%と大きな値となっていた。このことから樹高データは長年の継続調査による測定者の違いによってデータの精度が大きく変わっていることが考えられる。測定器の変わらない林齢 180 年~190 年、200 年~210 年ではともに連年成長量が 0.1m を下回り、成長は頭打ちになっていると考えられた。

表-3. 直径成長の経年変化

| 林齢 | 168-180 | 180-190 | 190-200 | 200-210 |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| 連年成長量(m/年) | -0.09 | 0.02 | 0.15 | 0.05 |
| 成長率(%) | -3.57 | 0.68 | 5.25 | 1.95 |

表-4. 樹高成長の経年変化

| 林齢 | 168-180 | 180-190 | 190-200 | 200-210 |
|-------------|---------|---------|---------|---------|
| 連年成長量(cm/年) | 0.35 | 0.26 | 0.25 | 0.23 |
| 成長率(%) | 7.87 | 4.50 | 4.04 | 4.01 |

4. 直径成長量の解析

回帰直線（表-5・図-5）は正の相関を示し、下方に移行する傾向がみられた。胸高直径が大きい個体ほど成長がよく、高齢になるにしたがって成長量は小さくなっていた。直径に関しても成長が頭打ちに近づいていることが明らかとなった。また、個体サイズと成長量は正の相関関係にあることから直径成長は個体サイズによる自己相関的な影響が強く働いていると推察される。

表-5. 回帰式

| 期間 | 傾き | 切片 |
|-------------|--------|---------|
| 1977年-1989年 | 0.0042 | 0.1300 |
| 1989年-1999年 | 0.0047 | -0.0055 |
| 1999年-2009年 | 0.0046 | -0.0330 |
| 2009年-2020年 | 0.0050 | -0.0910 |

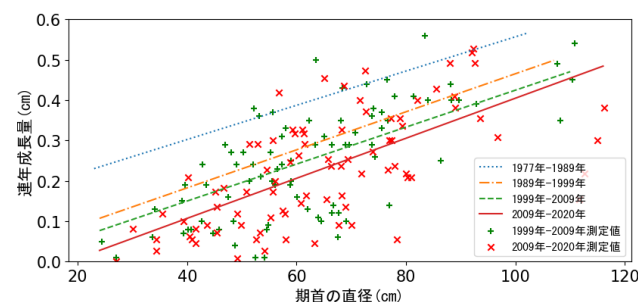


図-5. 期首の直径と成長量の関係

5. 立地条件別の成長量解析

沢側、山側それぞれの立地条件別成長の経年変化を表-6 に示した。平均胸高直径、平均樹高、平均単木材積、林分材積において沢側の値が大きかった。立木密度は山側が沢側の 1.5 倍以上の値を示しており、胸高断面材積合計も山側の方が大きかった。相対幹距は沢側で 20%をやや上回る値、山側でやや下回る値になり、本数減少の影響が見られた。

また、t 検定の結果は 5%有意水準で有意という結果であった（表-7）。胸高直径、樹高を説明変数に持つ胸高断面材積、材積においても有意な差があることが明らかとなった。

沢側・山側それぞれの林齢別平均胸高直径を図-6 に示した。エラーバーは標準偏差を用いてデータの散らばりを表している。どちらも右肩上がりであるので平均直径に有意な差はあっても成長が継続していることが明らかとなった。

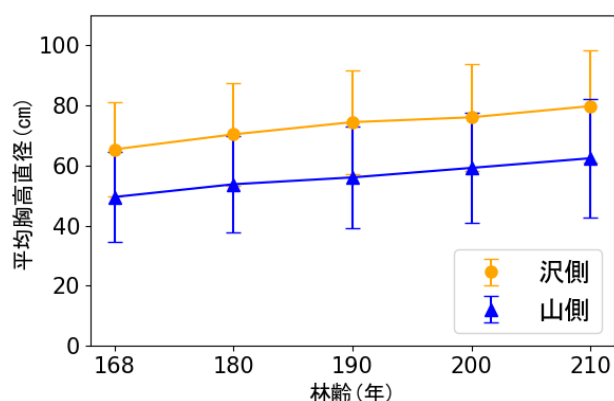
表一6. 立地条件別成長の経年変化

| 林齢(年) | | 168 | 180 | 190 | 200 | 210 |
|-------|-----------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 沢側 | 平均胸高直径(cm) | 65.4 | 70.4 | 74.5 | 76.1 | 79.8 |
| | 平均樹高(m) | 32.9 | 31.5 | 31.7 | 34.4 | 34.8 |
| | 解析本数(本) | 29 | 28 | 27 | 26 | 26 |
| | 立木本数(本/ha) | 207.1 | 200.0 | 192.9 | 185.7 | 185.7 |
| | 胸高断面積合計(m ² /ha) | 69.6 | 77.9 | 84.0 | 84.5 | 92.9 |
| | 平均単木材積(m ³) | 4.7 | 5.2 | 5.7 | 6.4 | 7.1 |
| | 林分材積(m ³ /ha) | 965.9 | 1033.9 | 1107.8 | 1190.1 | 1317.9 |
| | 相対幹距(%) | 21.1 | 22.5 | 22.7 | 21.3 | 21.1 |
| 山側 | 平均胸高直径(cm) | 49.5 | 53.8 | 56.0 | 58.6 | 62.3 |
| | 平均樹高(m) | 27.7 | 26.8 | 27.0 | 28.1 | 28.4 |
| | 解析本数(本) | 81 | 79 | 78 | 73 | 66 |
| | 立木本数(本/ha) | 368.2 | 359.1 | 354.5 | 331.8 | 300.0 |
| | 胸高断面積合計(m ² /ha) | 71.0 | 81.5 | 87.4 | 89.6 | 91.4 |
| | 平均単木材積(m ³) | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.4 | 3.8 |
| | 林分材積(m ³ /ha) | 920.1 | 996.9 | 1069.6 | 1139.8 | 1153.1 |
| | 相対幹距(%) | 18.8 | 19.7 | 19.6 | 19.6 | 20.4 |

表一7. 直径と樹高の差の t 検定結果

| 林齢(年) | 168 | 180 | 190 | 200 | 210 |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 確率(直径) | $2.2 \times 10^{-6} *$ | $4.5 \times 10^{-6} *$ | $2.2 \times 10^{-6} *$ | $2.6 \times 10^{-5} *$ | $8.2 \times 10^{-5} *$ |
| 確率(樹高) | $3.3 \times 10^{-6} *$ | $6.8 \times 10^{-5} *$ | $7.8 \times 10^{-5} *$ | $1.6 \times 10^{-7} *$ | $5.3 \times 10^{-7} *$ |

*:5%有意水準で有意

図一6. 沢側と山側の胸高直径の時系列変化
(平均値と標準偏差)

V まとめ

藤堂スギ林分は210年生と非常に高齢な林分であるが、直径成長の継続性は確認できた。しかし、成長量は徐々に減少していることから安定状態に近づいていると考えられる。樹高の成長はすでに頭打ちの傾向が見られたため、本林分の材積の増加は直径成長に依ることが判明した。沢側と山側の比較では沢側の成長がよく、約160m³/haの差があった。立木密度を見ると、山側が沢側の1.5倍以上であり、一個体の占有空間面積は沢側の方が大きい。この占有空間面積が成長量に影響を及ぼしていると考えられる(2)。また、土壌水分量が沢側で大きいことも成長量の違いに影響していると推察される。

本研究では5回の毎木調査のデータをそのまま用いた。しかし、樹高データに関しては誤差が大きいことが明らかとなった。測定器が変わると平均値が大きく変化し、成長量がマイナスの値を示すなど異常が見られた。Vertexを用いて樹高計測を行った林齢200年、

210年のデータに関しては精度が高いと考えられるので、分析を進めるためには林齢200年、210年時のVertexの測定値に基づいて過去のデータを補正し、解析を進めるのが望ましいと考えられる。また、立地条件に加え、傾斜や斜面方位などの空間因子によって成長過程に違いがみられることから今後は単木レベルでの空間解析を行う必要があると考えられる。

引用文献

- (1) 松村直人・塩野仁哉・鈴木真衣・川田伸治(2014) 平倉演習林藤堂スギ林分の定期測定資料(林齢168年~200年)(三重大学生物資源学研究科編. 三重大学フィールド研究・技術年報12号). 11-15
- (2) 宮本麻子・天野正博(2002) 立木の空間分布および生育条件が個体成長に及ぼす影響. 森林総合研究所研究報告:163-178
- (3) 林野庁(2020) 森林・林業白書. 全国林業改良普及協会.279
- (4) 桜井尚武(2002) 長伐期林とは何か(桜井尚武編著. 長伐期林の実際. 林業科学技術振興所). 5-10
- (5) 島田浩三久(2002) 測樹学問題集.地球社.163
- (6) 塩野仁哉・鈴木真衣・川田伸治・松村直人(2013) 200年生スギ人工林の成長解析. 中森研61:129-132