

平成 30 年 8 月 22 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07513

研究課題名(和文)異なる水分環境で生育した樹木の木材性質変動解析

研究課題名(英文) Analysis of the effects of soil moisture condition in the growth site on the wood properties

研究代表者

藤本 高明 (Fujimoto, Takaaki)

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：40446331

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：土壌水分環境の顕著な違いが見込まれる谷部および尾根部に試験プロットを設定し、両プロットから得られた供試木の生材含水率、密度およびヤング係数を比較した。生育時の土壌水分環境の違いは、いずれの樹種についても、特に初期成長段階で強く影響を及ぼす傾向が認められた。この材質変動パターンを定量的に予測するための統計数理モデルを構築した。本研究で得られた成果を、既存の成長予測モデルと組合せることによって、量・質ともに視野にいれた新たな森林資源管理の実現につなげる予定である。

研究成果の概要(英文)：The variations of wood properties are affected by both genetic and environmental factors. There are few reports examining the effects of the environmental factors on the wood properties. This study investigated the effects of the soil moisture conditions on wood properties in four domestic species. The sample trees were harvested from valley plot and ridge plot, where the soil moisture content was clearly different. The growth traits showed significantly higher values in the valley plot than the ridge plot in both species. The soil moisture content gave different influences on the wood properties at each growth period. We built the statistical model to predict the wood properties at each growth condition. In the future plan, the model will be incorporated into the model for predicting the growth traits and contributes the forest management which can respond flexibly to the demand for the ideal resources having both quantity and quality.

研究分野：木質科学

キーワード：材質変動 森林微地形 土壌水分 含水率

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、我が国の森林は、毎年約 8 千万 m³ ずつ蓄積が増加するとともに、人工林では、50 年生以上の高齢級の面積が平成 29 (2017) 年には全体の 6 割に達する見込みであるなど、量的には充実しつつあり、資源として本格的な利用が可能な段階を迎えようとしている。これをうけ、平成 21 年には「森林・林業再生プラン」が策定されるなど、国内林業・木材産業の復興、すなわち国産材利用促進に向けた取り組みが盛んに行われている。このうち木材利用分野においては、近年のプレカット加工の進展や相次ぐ大地震災害を契機に、寸法精度や強度等の品質・性能の明確な製品へのニーズが高まっている。我が国の林業・木材産業は、生産・流通・加工の各段階が小規模・分散・多段階となっており、木材需要者のニーズに応じて、品質・性能の確かな製品を低コストで安定供給できる生産加工体制を確立することが課題となっている。

(2) 木材に対しこれまでになく品質・性能が強く求められる一方、それを的確に評価・管理する技術は必ずしも整っていない。樹木の成長の結果として得られる木材は、生物由来の材料であるため、密度や強度といった基本的な性質は大きく変動する。この木材性質の変動は、樹種間や個体間はもとより同一個体内(樹幹内)においても著しい。このような木材性質の変動を正しく理解することは、木材を適材適所に効率よく利用する上でも、また所望の性質を有する木材を育成する上でも重要である。しかし、変動の要因、パターン等に関する知見は、経験的な理解にとどまり定量性に乏しい。

(3) 木材が再生可能な天然資源として注目される中、持続可能な森林経営・管理がこれまで以上に強く要求されている。森林資源の経営・管理において、蓄積量や成長量など量的な情報は充実しており、現状の森林の状態から将来的な予測に至るまで詳細に調べられている。例えば、樹木の樹高成長や直径成長モデルに基づいた収穫予測表が各地で作成され、森林生産の規範となっている。このように、ある生産管理工程(どこに植え、いつ頃の程度間伐処理をするかなど)を経ればどの程度の量の木材が得られるかは分かる一方で、そこで収穫される木材の性質がどのようなものかという質的な情報は現状では全く予測不能である。言い換えれば、どのような育成管理をすればどのような性質の木材が生産されるかという素朴かつ本質的な問いに現状では明快に答えられない。

(4) そこで、森林資源の蓄積量や成長量など量的な情報と同様に、数理統計モデルによる分析を木材性質変動に適用することによって、質的な情報をも考慮した新たな森林資源管理が実現できるのではないかと着想した。予備的な取組として、申請者らは、ある

施業履歴を経た木材の密度変動に対し数理統計モデルをあてはめることによって、各施業体系に応じた密度変動の定量的な評価を試みてきた。このような定量的かつ実証的なデータを活用することで、森林資源に関する政策の意思決定やマネジメントを効果的に行うことが出来ると期待できる。同様な統計分析手法は、北欧、北米等、林業先進地を中心に試みられており、重要な政策リテラシーの一つになっている。

(5) 木材の諸性質は、遺伝による先天的な要因と、生育立地や森林施業の違い等による後天的な要因によって変動する。これまで、先天的要因による木材性質変動については、遺伝率等のパラメータ推定が行われるなど定量的な評価が進んでいる。しかし、後天的要因による変動については、生育環境条件の間の有意差の有無といった定性的な議論が多く、定量的に評価した事例は極めて少ない。また、生育環境の諸条件として、気温、降水量、日照量等、様々な要因が考えられるが、なかでも土壤水分環境が最も木材性質変動に強く影響を及ぼすという報告事例が多い。

2. 研究の目的

(1) 以上の背景をふまえ、本研究では、後天的要因として水分環境に絞り、その木材性質変動に与える影響を以下の手順に従い明らかにすることを目的とした(図 1)。

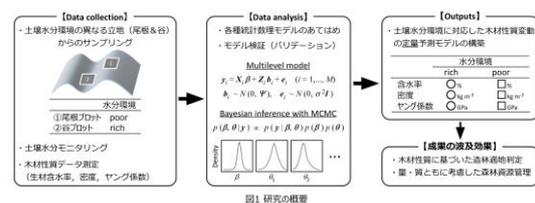


図1 研究の概要

- ① 試験地の設定：森林内の環境変化のなかでも尾根から谷筋にかけて見られる土壤の乾湿度傾度は明瞭であり、斜面上における植生分布に大きな影響を与える。したがって、水分環境の顕著な違いが見込まれる尾根部から谷部にかけて試験プロットを設定する。
- ② 土壤水分モニタリング：水分環境の木材性質への影響は季節によって異なることが示唆されている。これを検証するため、通年の土壤水分変化を計測モニタリングする。
- ③ 木材性質変動予測モデル構築：解析対象の木材性質は、生材含水率、密度および剛性(ヤング係数)とする。各試験プロットから得られたデータに対し、マルチレベルモデル、階層ベイズモデル等の数理統計モデルをあてはめを試みる。試験プロット以外からの未知試料データをあてはめるなどのモデル検証を行い最良のモデルを選択する。以上を通じて、土壤水分環境に対応した木材性質変動の定量的予測モデルを構築する。

(2) なお、試験対象樹種は、針葉樹 2 種 (スギ (*Cryptomeria japonica*), ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)), 広葉樹 2 種 (ケヤキ (*Zelkova serrata*), トチノキ (*Aesculus turbinata*)) とし、樹種ごとの水土保全機能とその良質木材生産との両立の可能性についても考察を加えた。

3. 研究の方法

(1) 試験地は、鳥取大学農学部蒜山教育研究林 (岡山県真庭市, 35° 16' N, 133° 36' E; 標高約 540 m) より選定した。既往研究から森林内の環境変化のなかでも尾根から谷筋にかけて見られる土壌の乾湿度傾度は明瞭であり、斜面上における植生分布に大きな影響を与えることが知られている。そのため本研究では、各樹種に対して、土壌水分環境の顕著な違いが見込まれる谷部および尾根部に試験プロットを設定し、両プロットからそれぞれ 5 本ずつの合計 10 本のサンプル木を 2016 年 4 月に伐倒した (図 2)。伐採前の毎木調査の結果から、各プロットで平均的な成長のものをサンプル木として選んだ。各試験地の設置年から、林齢はそれぞれスギおよびヒノキが 54 年、ケヤキが 34 年、トチノキが 33 年と推察された。土壌水分の計測は、谷、尾根両プロットに土壌水分計を 2015 年 12 月に設置し、以後経時的に実施した。

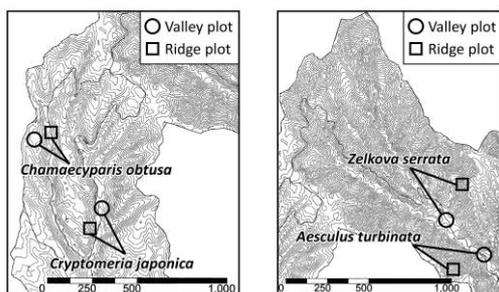


図2 鳥取大学教育研究林地地形図

(2) 各サンプル木を伐倒した後、地上高約 2.0 m 部位付近から厚さ約 5 cm の円板を採取した。円板は、採取後直ちに、髓を通る幅約 3 cm の棒状の試料に加工し、さらに同試料を 5 年輪ごとに鉋で割り、ブロックサンプルとした。ブロックサンプルを用いて、平均年輪幅 (ブロックの放射方向径 / 5)、生材含水率および容積密度数を測定した。容積密度数は浮力法により測定した。各形質とも、測定は両半径方向について行い、両者の平均値を代表値とした。生材含水率は、両樹種ともに心材・辺材で顕著な差異が認められなかったため、特に部位による違いは考慮せず以下の解析を進めた。

4. 研究成果

(1) 供試木の樹高及び胸高直径を表 1 に示す。ケヤキ、トチノキともに、谷プロットのほうが尾根プロットよりも樹高および胸高直径の値が高く、旺盛な成長であった。この結果から、既往の知見のとおり、谷部のほう

が尾根部よりも湿潤な土壌環境であったことが推察される。

表 1 樹高および胸高直径

	<i>Cryptomeria japonica</i>		<i>Chamaecyparis obtusa</i>	
	Valley	Ridge	Valley	Ridge
Height (m)				
Min.	24.5	22.5	16.6	16.8
Max.	27.0	24.6	22.7	19.5
Mean	25.8	23.4	20.0	17.9
DBH (cm)				
Min.	34.8	27.2	20.9	20.4
Max.	40.6	38.5	34.5	27.6
Mean	37.9	31.1	28.5	24.6

	<i>Zelkova serrata</i>		<i>Aesculus turbinata</i>	
	Valley	Ridge	Valley	Ridge
Height (m)				
Min.	18.3	15.3	11.9	10.2
Max.	20.8	16.7	15.4	13.8
Mean	19.5	16.0	14.1	11.9
DBH (cm)				
Min.	23.0	14.0	18.5	12.1
Max.	26.8	20.0	26.0	21.7
Mean	24.9	17.5	22.1	16.6

(2) 土壌水分の計測は、谷、尾根両プロットに土壌水分計を 2015 年 12 月に設置し、以後経時的に実施した。同データによれば、特に春先の融雪時において谷部と尾根部で特徴的な土壌水分の違いが認められた (図 3)。例えば、2016 年 3 月 10 日から 4 月 10 日までの期間で、土壌中に体積含水率 45% 以上の水を含んでいる時間は、谷部で 690 時間、尾根で 418 時間であった (図 4)。これらの結果から、既往の知見どおり、森林における微地形の違いによって土壌水分量が異なることが分かった。

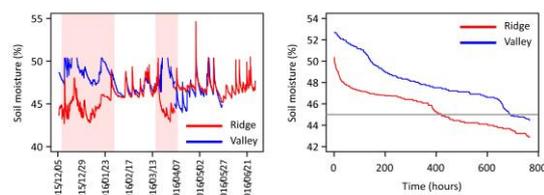


図3 土壌水分 (体積含水率) の経時データ

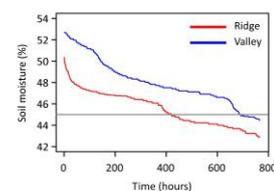


図4 融雪時 (3/10-4/10) の土壌水分曲線

(3) 以下、紙面の都合上、広葉樹 2 種の結果を示す。谷および尾根プロットにおける、平均年輪幅 (以下、年輪幅)、生材含水率および容積密度数の箱ひげ図を、ケヤキ (上段) およびトチノキ (下段) について示す (図 5)。ケヤキ、トチノキともに、谷プロットと尾根プロット間で、すなわち土壌水分の違いによって、年輪幅では明瞭な差が認められたが、容積密度数では認められなかった。環孔材の場合、年輪幅と密度の間には正の相関関係が認められる傾向が強いが、本研究のケヤキで

は両者の間に明瞭な相関関係は認められなかった ($r = 0.44$)。散孔材であるトチノキについては、既往の知見のとおり、年輪幅と密度の間に明確な関係が認められなかった。密度は道管、木部繊維などの径や分布が複合的に関与する形質であることから、組織構造の変動もあわせて今後さらに検討する必要がある。

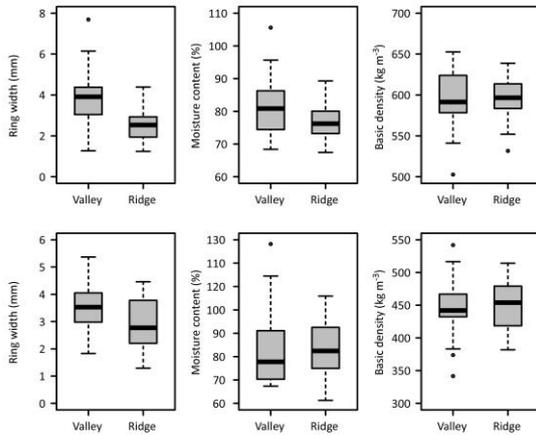


図5 平均年輪幅、生材含水率および容積密度数の箱ひげ図

(4) 目的変数、すなわち、年輪幅、生材含水率および容積密度数を定量的に予測するため、プロット (谷、尾根) を要因とした線形モデルのあてはめを試みた。谷プロットおよび尾根プロットの平均は、それぞれ処理対比でパラメータ化した。各パラメータの結合事後分布をベイズ推論に従ってシミュレーションした。年輪幅、生材含水率および容積密度数のプロット平均の事後分布を、ケヤキ (上段) およびトチノキ (下段) について図6に示す。

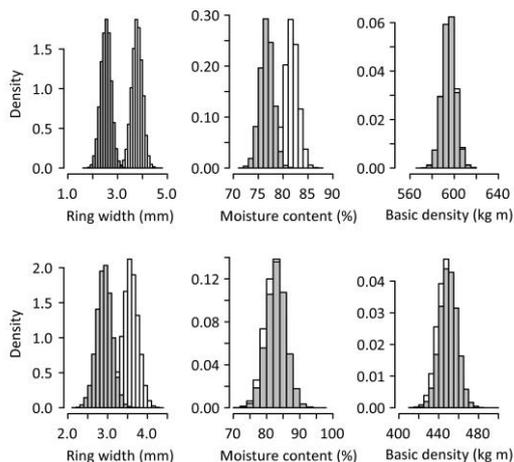


図6 年輪幅、生材含水率および容積密度数のプロット平均の事後分布

両樹種とも、年輪幅については、谷プロット (白) の方が尾根プロット (グレー) よりも高い傾向を示し、得られたシミュレーションサンプルで両プロットを比較すると 99%以上のもので前者が高いという結果であった。生

材含水率については、ケヤキでは谷プロットの方が尾根プロットよりも高い傾向であったが、トチノキでは両者に顕著な差は認められなかった。シミュレーションサンプルを比較すると、ケヤキでは 99%が谷プロットの方が高かったが、トチノキではプロット間差は 44%であった。容積密度数は、両樹種ともにプロット間の差はほとんど認められず、シミュレーションサンプルの違いも 50%程度となった。

(5) 一般に、木材の諸性質は加齢にともない著しく変動する。よって、樹幹全体の平均的な考察では不十分で、樹幹内での変動についても検討する必要がある。以下では、一例として、容積密度数が樹幹内、すなわち加齢にともないどのように変動するかを定量的に評価し、その変動パターンが土壌水分環境によってどのような違いがあるのかを検討した。各プロットにおける加齢に伴う容積密度数の変動を図7に示した。実線が各供試木の実際値変動を示すが、ケヤキについては、両プロットとも加齢に伴い容積密度数は減少する傾向が認められた。トチノキについては、谷プロットでやや不明瞭なもの、加齢にともない容積密度数は増加する傾向であった。

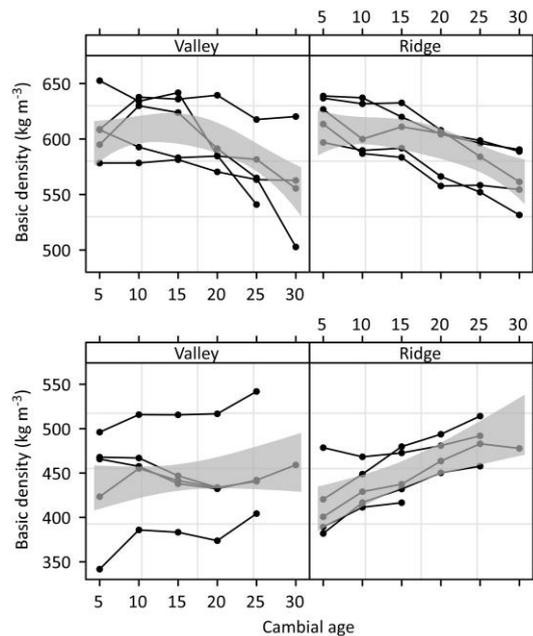


図7 加齢に伴う容積密度数の変動

(6) この変動パターンを定量的に評価するために、個体の違いを变量効果として取り入れたマルチレベルモデルのフィッティングを試みた。すなわち、以上の実測値の変動パターンから、個体 i の樹齢 (形成層齢) x_j における容積密度数が x_j の二次関数で表されると仮定し、モデル構築を進めた。切片、1 次項、2 次項および残差パラメータは、それぞれ独立に正規分布に従うと仮定した。各パラメータの事後分布は、上述と同様にベイズ推

論に従ってシミュレーションした。なお、ベイズ解析に先立って、各固定効果パラメータの有意差を最尤推定に基づいて検定した結果、トチノキについては2次項で有意な差が認められなかった。よって、トチノキの容積密度数は、形成層齢の1次関数でモデル化した。シミュレーションによって得られた各パラメータの事後分布に対応する推定モデルの95%信頼区間をグレーで示した(図7)。ケヤキについては、容積密度の加齢にともなう変動パターンにプロット間の明瞭な違いは認められず、各モデルパラメータのシミュレーションサンプルを比較しても60~70%程度の相違であった。一方、トチノキについては、成長初期は谷プロットの方が尾根プロットよりも容積密度数は高いが、成長後期は尾根プロットの方が高い傾向であった。実際、切片および傾きのシミュレーションサンプルを比較すると、谷・尾根プロット間で90%以上の相違が認められた。上述のように樹幹全体の平均ではプロット間に明瞭な差は認められなかったが、成長過程を着目すると変動パターンに相違があったことは注意しなければならない。

(7) 以上の結果をまとめると、生育時の土壤水分環境の違いは、特に成長形質(年輪幅)に強く影響を及ぼすと考えられる。一方で、材質的な形質(生材含水率、容積密度数)については、本研究で検討した樹種においては、土壤水分の影響は不明瞭であった。ただし、いずれの樹種についても、特に初期成長段階で強く影響を及ぼす傾向が認められた。例えば、ヒノキにおける容積密度数の変動は、両プロットとも樹齢に伴い減少しほぼ同程度の収束値を示すが、若齢時では谷プロットの方が尾根プロットよりも有意に高くなるのが定量的にも確認された。ケヤキとトチノキにおいては、土壤水分の影響は必ずしも明瞭ではなかったが、ケヤキの生材含水率は土壤水分が豊富な谷部で高く、トチノキの容積密度数は成長過程で土壤水分の影響が異なることが示唆された。

(8) 上述のとおり、本研究で得られた結果は、データ数も少なくあくまでも暫定的なものであり、今後さらに様々な条件からのデータを収集し一般的な傾向を明らかにする必要がある。その際、本研究で提案した統計モデルは、新規データを収集するたびに逐次パラメータを更新可能な、いわゆるオンライン学習が容易に遂行できる。広大な森林で生じる全容を一度に把握するのは非現実的であることから、部分的なデータを得るたびにモデルを更新する本方法は現実的かつ有用なアプローチであると考えられる。

(9) 本研究では、生育環境要因として土壤水分を考え、その違いが顕著にあらわれると考えられる谷部および尾根部に試験地を設け一連の実験を行った。しかし、谷部と尾根

部では、日照量や気温など、土壤水分以外の多くの要因も異なっていることが想定される。言い換えれば、谷や尾根といったいわゆる森林微地形には、様々な環境要因が含まれており、それらが総合的に樹木の成長や材質に影響を与えると考えられる。近年、地形情報などのGIS技術の進歩は目覚しく、さらにそれらの詳細な情報を比較的容易に入手することができる。今後は、様々な環境要因情報を内包していると考えられる地形データを説明変数として、樹木の成長や材質を予測する統計モデルの構築を試みる予定である。

5. 主な発表論文等 (研究代表者は下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 堤晴彩, 山岡純平, 芳賀弘和, 藤本高明: 生育時の土壤水分環境が広葉樹材の材質におよぼす影響. 森林バイオマス利用学会誌, 査読有, 11(2): 55-61, 2016
- ② Tsutsumi, H., Fujimoto, T.: Effects of aging on the extractive contents of Japanese oak (*Quercus crispula*) heartwood as evaluating based on cambial age and elapsed time since wood formation. Journal of the Forest Biomass Utilization Society, 査読有, 11(1): 19-25, 2016

[学会発表] (計3件)

- ① Tsutsumi, H., Fujimoto, T.: Wood quality of Japanese oak for barrel usage evaluated by NIR spectroscopy. Asian NIR Symposium 2016 (The 5th Asian NIR Symposium), Kagoshima, Japan, 2016年12月
- ② 堤晴彩, 山岡純平, 芳賀弘和, 藤本高明: 異なる水分環境で生育した樹木の木材性質変動解析(第1報)ヒノキの容積密度数の変動, 日本木材学会中国・四国支部第28回(2016年度)研究発表会, 松山市, 2016年9月
- ③ 山岡純平, 堤晴彩, 芳賀弘和, 藤本高明: 異なる水分環境で生育した樹木の木材性質変動解析(第2報)ケヤキの容積密度数の変動, 日本木材学会中国・四国支部第28回(2016年度)研究発表会, 松山市, 2016年9月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 高明 (FUJIMOTO, Takaaki)
鳥取大学・農学部・准教授
研究者番号: 40446331

(2) 研究分担者

芳賀 弘和 (HAGA, Hirokazu)
鳥取大学・農学部・准教授
研究者番号: 90432161