

学位論文要旨

学位授与申請者

氏名 原田 喜一

題目 : Predicting the Dynamic Modulus of Elasticity of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don)
Logs at the Standing Tree Stage: Toward Quality-Based Forest Management
(立木段階におけるスギ原木動的ヤング率の予測：品質に基づいた森林管理に向けて)

Chapter 1: General Introduction (序論)

日本では国産材利用が促進されており、建築物の木造化が進んでいる。また、木質構造材では、強度性能のような品質情報の明記が求められており、非破壊的に強度性能の計測が可能な動的ヤング率 (MOE_{dyn}) が指標として重要とされている。しかし、現在の森林管理では出材材積などの量的指標を重要視しており、原木は強度性能が不明のまま流通している。このため、木質構造材を生産する木材需要側は、歩留まりを考慮し必要量以上の原木を購入する対応をとっている。この結果、原木が低価格で取引され、供給側である素材生産業者の収益の低迷の要因の一つとなっている。この非効率的な原木流通の解消のためには、既存の「量」を指標とした森林管理から需要側が求める「品質」に基づいた森林管理への転換が必要と言える。この新たな森林管理の実現には、立木段階で原木強度性能が予測できる技術の確立が重要である。従来も、森林管理に用いる立木の成長などと原木 MOE_{dyn} の関係性を検討した研究はあるものの、立木の段階で原木 MOE_{dyn} の予測を行う試みは少なく、品質に基づく森林管理の提案をするまでに至っていない。そこで、本研究は日本の主要な樹種であるスギを対象に、既存の森林管理で用いられている指標 (立木の成長、樹齢、立地環境) と原木 MOE_{dyn} の関係を明らかにし、立木段階において原木 MOE_{dyn} の予測を試み、強度性能を踏まえた「品質」に基づく森林管理への新たな知見を提供することを目的とした。2 章では、まず森林管理の影響を受けやすい肥大成長パターンと原木 MOE_{dyn} の関係を把握した。3 章では、立木の応力波速度、成長指標である樹齢、直径、樹高と原木 MOE_{dyn} の関係から、立木段階で原木 MOE_{dyn} の予測可能かを検討した。また、4 章では、成長と深い関係がある立地環境や地位区分と原木 MOE_{dyn} との関係について把握し、応力波速度を測定せずに成長と関わる指標のみから原木 MOE_{dyn} の予測可能性を検討した。そして、5 章では品質に基づいた森林管理の可能性と課題を考察した。

Chapter 2: The Relationship Between Growth Indicators Obtained from Annual Ring Analysis and Log Dynamic Modulus of Elasticity

(年輪から得られる肥大成長指標と原木動的ヤング率の関係把握)

樹木の年輪情報に基づいた肥大成長パターンは原木 MOE_{dyn} と関係があるとされており、植栽密度や間伐などの森林管理によって差異が生じる。既往の研究においても平均年輪幅と原木 MOE_{dyn} には負の相関があると報告されているが、植栽密度や間伐により生じる肥大成長パターンとの関係は明らかになっていない。このため、本章では、平均年輪幅に加え、初期成長を

示す中心部の平均年輪幅、後半の成長を示す外側の平均年輪幅、年輪幅のばらつきの4つの肥大成長指標を説明変数とし、一般化線形混合モデル (GLMM) を用いて原木 MOE_{dyn} との関係を把握した。その結果、平均年輪幅が狭く、年輪幅のばらつきが少ない原木ほど、 MOE_{dyn} が高くなる傾向が確認された。これは、肥大成長のパターンが原木の MOE_{dyn} を予測する上で重要な指標であり、初期から後期にかけて肥大成長を抑制することが、 MOE_{dyn} の向上につながることを示している。このような原木を育成するには、高密度に植栽し、適度な間伐を行う従来の育林方法が有効であると考えられ、従来の方法が原木の MOE_{dyn} を高める可能性が示唆された。

Chapter 3: Predicting the Dynamic Modulus of Elasticity of Logs Based on Standing Tree Indicators

(立木時に取得可能な指標を用いた原木動的ヤング率の予測)

立木段階で原木 MOE_{dyn} を予測する試みとして非破壊試験が存在している。特に立木を打撃し得られた応力波速度から原木 MOE_{dyn} を予測する手法はよく用いられている。また、樹齢や、立木の伸長、肥大成長が原木 MOE_{dyn} に影響を与えること、原木が生産される採材位置により同一立木でも原木 MOE_{dyn} の傾向が異なることが明らかになっている。しかし、これらの指標を複合的に用いて原木 MOE_{dyn} 予測を試みた事例はない。そのため、本章では、これらの立木時に取得可能な指標 (応力波速度、樹高、胸高直径 (DBH)、樹齢、採材位置) を用いて GLMM により原木 MOE_{dyn} 予測モデルを構築し、原木 MOE_{dyn} との複合的な関係を把握した。その結果、採材位置別に応力波速度・樹齢の値を用いて、決定係数 0.723 と高い精度で原木の MOE_{dyn} が予測可能であることが明らかとなった。採材位置が最下部以外で樹齢が高い立木ほど原木 MOE_{dyn} が高くなることが示唆されたため、立木の段階で原木 MOE_{dyn} を予測する際には採材位置と樹齢を考慮することの重要性が示された。

Chapter 4: Predicting the Dynamic Modulus of Elasticity of Logs Based on Growth-Affecting Site Conditions and Tree Growth Indicators

(成長に影響を与える立地環境と立木成長指標を用いた原木動的ヤング率の予測)

3章では応力波速度と樹齢によって原木 MOE_{dyn} の予測モデルを構築した。しかし、応力波速度は1本1本林内で計測する必要があるため、多大な労力を要する。そのため、実際の森林管理において応力波速度を計測し、原木 MOE_{dyn} 予測を行うことは現実的ではない。本章では、立木の成長に影響を与えることが明らかであり、森林管理にも用いられている立地環境 (堆積様式、凹凸地形、地位指数区分) と、DBH と樹高を樹齢で割った年平均成長量を用いて、原木 MOE_{dyn} の予測を試みた。その結果最も精度の良いモデルは、説明変数に DBH の年平均成長量、ランダム効果に、地位指数区分と採材位置を用いたモデルであり、決定係数は 0.651 となった。すなわち、地位指数区分が低く、成長の優れない立地環境から生産された原木の MOE_{dyn} が高くなる傾向がみられた。この結果から、既存の森林管理指標である地位指数区分を用いて強度性能が高い原木を生産できる立木の抽出が可能であることを示すことができた。

Chapter 5: General Discussion (総括)

本研究の2章の結果は、植栽密度を高めて立木の肥大成長を抑制し、間伐を行い均一で年輪幅が狭くなるよう育成された立木から生産される原木は、 MOE_{dyn} が高い可能性を示している。

これは用材のための伝統的な育林方法が、原木の MOE_{dyn} を高める上で有効な手法である可能性を示した。3章と4章では、森林管理に用いられる指標から MOE_{dyn} の高い原木が生産できる立木の抽出可能性を把握した。3章では、樹齢と応力波速度、採材位置を用いることで MOE_{dyn} の高い原木が生産できる立木を抽出できる可能性を示し、原木 MOE_{dyn} 予測において、応力波速度に加えて樹齢が重要であることが示唆された。さらに、4章では、立木の成長に負の影響を与える地位指数区分では原木 MOE_{dyn} が高くなる傾向がみられ、立木の応力波速度を測定せず立地環境を考慮することで、より高い精度で MOE_{dyn} の高い原木を生産できる立木を抽出できる可能性を示した。この結果から、広域的な図示化が可能な立地環境情報と直径・樹齢の情報から原木 MOE_{dyn} が予測できる可能性が示唆された。また、成長の悪い立地環境でより原木 MOE_{dyn} が高くなるという4章で示された立地環境と原木 MOE_{dyn} の関係は、成長をもとにした林業適地の評価とは逆説的な傾向であった。これは、品質を林業適地の評価基準とした場合、従来と異なる場所が抽出される可能性を示している。本研究で立地環境と原木 MOE_{dyn} との関係を示したことで、原木 MOE_{dyn} の森林評価図が作成可能となる。本研究に基づく原木 MOE_{dyn} の森林評価図と従来通りの成長の森林評価図を重ねることで、成長などの量と原木 MOE_{dyn} などの品質の双方の面から林業適地の抽出が可能となり、品質情報に基づく森林管理につなげるための方向性を示したことは大きな成果であると言える。一方、本研究は特定のサイトで実施した事例研究であり、その汎用性については今後さらなる検証が必要である。