

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26450193

研究課題名(和文)パイプモデルアロメトリーを用いたヒノキの葉バイオマス推定と窒素利用特性の評価

研究課題名(英文)A novel method for estimating leaf biomass of hinoki cypress forests and evaluation of nitrogen utilization

研究代表者

中西 麻美(Nakanishi, Asami)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・助教

研究者番号：60273497

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：常緑樹であるヒノキの樹冠葉量を簡易に推定するためのパイプモデルに基づく新たな手法を開発した。全国7地域の伐倒調査の結果から、ヒノキの樹冠葉量について、生枝下断面積と樹冠葉量に比例関係が成り立つこと、比例定数は年平均気温が高いほど大きいことを明らかにした。これらの結果より胸高直径、樹高、生枝下高と調査地の平均気温から葉量を推定することが可能になった。この手法を用いて高知県の間伐後のヒノキ人工林の葉量の変化や異なる地形条件の葉量を推定し、本手法の有効性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A novel method was developed for estimating leaf biomass of evergreen hinoki cypress based on the pipe model theory. The analysis of felled trees in seven areas indicated that leaf biomass of hinoki cypress was proportional to the basal area at the lowest crown and the proportion constant was positively correlated with mean annual temperature of the study site. The findings suggest that leaf biomass would be simply estimated from diameter at the breast height, tree height, height at the lowest crown, and mean annual temperature. The applicability of the method was evaluated for thinned forests and forests along a topographic gradient.

研究分野：森林生態学

キーワード：ヒノキ 樹冠葉量 生枝下高 パイプモデル 生枝下断面積 気温 土壌窒素 葉寿命

1. 研究開始当初の背景

葉のバイオマス量は森林生態系の一次生産力を評価する上で大変重要である。常緑樹であるヒノキの場合には、葉のバイオマスの推定は、伐倒した個体の葉量を求めて、胸高直径とのアロメトリー関係から推定される。しかし、林分ごとの直径と葉量のアロメトリー関係が異なるため、多くの林分に適用することはできない。

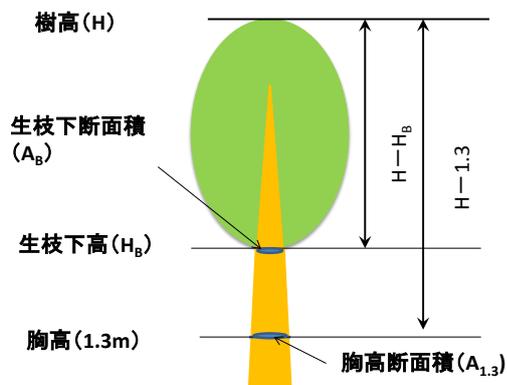
一方、生枝下高の断面積と葉量についてもアロメトリー関係がある。この関係は樹形のパイプモデル理論を利用したアロメトリーとして知られ、樹木の葉量推定で最も汎用性が高いと考えられている。しかし、生枝下における直径を計測するには、木を伐倒するか、木に登る必要があるため、これまでの調査事例は限られている。

隅田らは、ダケカンバを用いて、樹高、生枝下高、胸高直径から、生枝下断面積を正確に推定する簡易な手法を開発した。この手法を葉量推定のアロメトリー式に応用すれば、樹高、生枝下高、胸高直径を測定するだけで葉量を推定することが可能になる(図1)。日本の代表的な造林樹種であるヒノキについてもこの手法の適用可能性を明らかにすることが期待される。

2. 研究の目的

1) アロメトリー式の有効性評価

新たな簡易手法は、生枝下断面積と葉量に比例関係が認められること、生枝下断面積が、樹高、生枝下高、胸高直径から精度よく推定できることを根拠としている。代表的な造林樹種であるヒノキについて本手法の有効性を評価するためには、異なる環境条件、気象条件における伐倒調査のデータを用いてアロメトリー式を作成し、地域間で比較することが必要である。



$$LB = WLF_f \times A_{1.3} \times (H - H_b) / (H - 1.3)$$

図1 パイプモデルに基づく葉量(LB)の推定
WLF_fは比例定数を示す。

2) 異なる環境条件における葉量の推定

ヒノキは、斜面地形に植栽されており、地形条件によって樹高成長が異なる。これまでは、地形条件が異なる場合には、それぞれの地点でアロメトリー式を作成することが必要であった。しかし、新たな手法では、生枝下断面積を推定するため、一つのアロメトリー式を異なる地形条件に適用することが可能になると期待される。本手法を高知県の標高、地形条件の異なるヒノキ林分に適用し、葉量の変化を明らかにする。

3) 間伐後の葉量変化の推定

ヒノキ林において間伐をすると、光環境が改善するため、枝の枯れあがりが起こりやすくなると考えられる。このような条件では、間伐前後で異なるアロメトリー式を用いることが必要であった。しかし、新たな手法では、間伐後の枝の枯れあがりを反映して葉量を推定できるため、間伐後の葉量の変化を正確に推定できると考えられる。本手法の有効性を、高知県の異なる間伐率で間伐を実施した林分に適用した。また、林床における光環境の変化から推定した葉量回復過程の結果と比較し、本手法の有効性を明らかにする。

4) 異なる地形条件における葉寿命の推定

葉寿命は樹木の成長や生産に関する重要なパラメータである。ヒノキは常緑で葉がりん片状で細かく、葉齢の判断が難しいため、葉寿命は葉量を落葉量で割って算出する。したがって、葉量を簡易に推定する手法が望まれる。

これまでの研究で、葉寿命は生葉の窒素濃度や土壌の窒素資源が小さいほど長い傾向が報告されている。パイプモデルに基づくアロメトリー式を適用することにより、様々な条件下で生育しているヒノキが環境条件に応じて葉寿命をどのように変化させているのかを明らかにできる。本手法により推定した葉量を用いて、京都市内の異なる斜面位置のヒノキ林分における葉寿命について明らかにする。

3. 研究の方法

1) アロメトリー式の有効性評価

本手法の有効性を明らかにするために、茨城、愛知、滋賀、高知の7地域のヒノキの伐倒試験の結果を用いて、生枝下断面積および葉量を推定するアロメトリー式を作成した。地域間で回帰直線の傾きと切片の差を検定した。

2) 異なる環境条件における葉量の推定

高知県の標高の異なる2つの地域において、斜面の様々な地形を含むように20m×20mの調査区を18か所設定した。それぞれの地域の伐倒調査の結果からパイプモデルアロメトリー式を作成した。それぞれの調査区に

において樹高、生枝下高、胸高直径を測定し、これらをアロメトリー式に当てはめて葉量を推定した。

3) 間伐後の葉量変化の推定

高知県の標高の異なる2つの地域において異なる間伐率の調査区を6か所設置した。パイプモデルに基づくアロメトリー式を用いて葉量を推定し、間伐後10年間の変化を明らかにした。間伐時の葉量の減少量に対する、間伐後の葉量の増加量から、葉量の回復時間を推定した。林床照度や樹冠長に基づくモデルによる葉量の回復時間を算出し、手法間で比較した。

4) 異なる地形条件における葉寿命の推定

京都市北郊に位置する天然更新したヒノキが優占する二次林において、同一斜面上の上部、中部、下部に調査区を設定した。この調査区では、斜面下部ほど土壌の窒素資源が大きい傾向が明らかにされている。この林分における過去の伐倒試験から、以下のアロメトリー式を求めた。

$$LB=710 \times A_{1.3}(H-H_B)/(H-1.3)$$

樹高、生枝下高、胸高直径を測定して、葉量をアロメトリー式により計算した。3年間にわたってヒノキ落葉を採取し、年間落葉量を算出した。林分葉量を年間落葉量で割って各調査区の葉寿命を求めた。

4. 研究成果

1) アロメトリー式の有効性評価

茨城、愛知、滋賀、高知の7地域の12林分においてパイプモデルに基づくアロメトリー式を作成した。生枝下断面積を推定するモデルでは、すべての林分で共通の傾き1の直線で回帰することができた。したがって、ヒノキについては樹高、生枝下高、胸高直径から共通の式で生枝下断面積を推定することができた。また、樹冠葉量については、傾き1の直線で回帰できるが、直線の切片は林分によって異なっていた(図2)。この結果

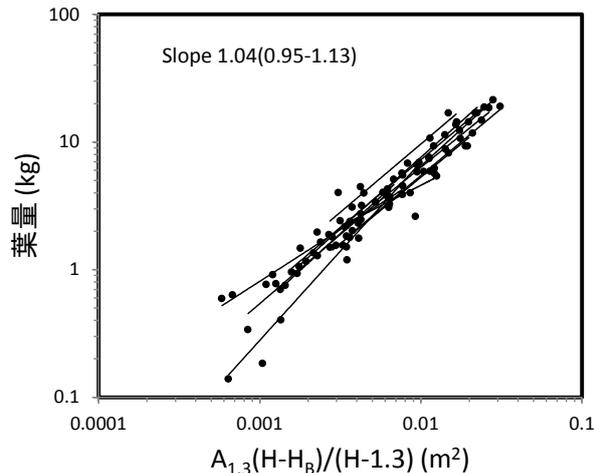


図2 7地域12林分におけるパイプモデルに基づくアロメトリー式

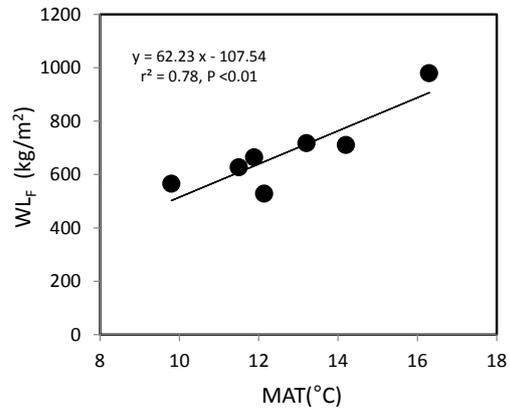


図3 年平均気温と葉量推定式の比例定数の関係

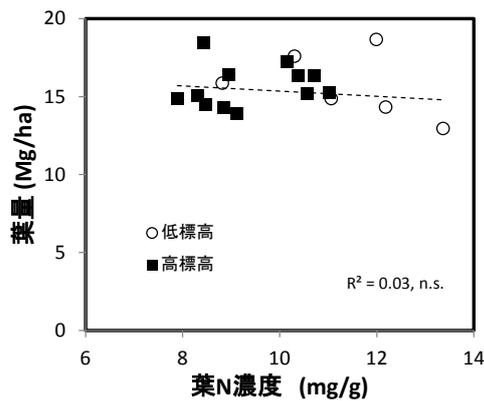


図4 ヒノキ葉の窒素濃度と樹冠葉量の関係

は、生枝下断面積あたりの葉量が比例関係にあるというパイプモデルを支持するが、比例定数(WL_F)は場所ごとに異なることを示している。調査地の年平均気温が高いほど、比例定数が大きくなる傾向が認められた(図3)。この結果は、ヒノキの生枝下断面積あたりの葉量は、温暖な地域ほど多い傾向があり、温度条件に対応してヒノキの葉の形質が変化することを示す。また、温度に対する比例定数を予測することが可能になったため、これらの地域で、樹高、生枝下高、胸高直径と年平均気温の情報から葉量を推定することが可能になった。

2) 異なる環境条件における葉量の推定

高知県の2地域の地形条件の異なる18か所のヒノキ林分の葉量をパイプモデルに基づくアロメトリー式を用いて推定した。林分葉量は高標高地域で14.1~19.2 Mg/ha、低標高地域で12.6~18.2 Mg/haであった。地域や斜面位置、葉窒素濃度(土壌条件の指標のひとつ)による林分葉量の差は認められなか

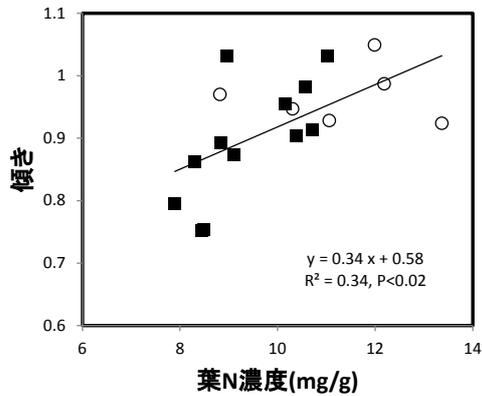


図5 ヒノキ葉の窒素濃度と回帰直線の傾き(LB-D²H関係)の関係

った(図4)。これまでの多くの伐倒試験による林分あたりの葉量推定の結果より、ヒノキ林の葉量は、気象条件、土壌条件に関わらず比較的一定の値を示すことが知られている。本研究の結果は、地域内の土壌条件が大きく異なる林分においても、林分葉量が一定の値を示すことを示唆する。

胸高直径(D)、樹高(H)の測定結果より、幹バイオマスの指標をD²Hとして求めた。林分ごとに対数変換したD²Hと葉量の関係を直線で回帰した。回帰直線の傾きは高標高地域で0.75~1.03、低標高域で0.92~1.05を示した。回帰直線の傾きが1の時に、幹バイオマスあたりの葉量が個体サイズに対して一定になり、傾きが小さいほど、サイズが小さい個体ほど幹バイオマスあたりの葉量が大きくなることを示す。ヒノキ葉の窒素濃度と回帰直線の傾きには正の相関関係が認められた(図5)。窒素濃度の低い林分は、土壌の窒素資源が乏しい地形条件であるが、小さい個体の幹バイオマスあたりの葉量が多かった。一方、窒素濃度の高い林分は、個体間の競争が強いため小さい個体の葉量が減少した。これらの結果より、土壌の窒素資源の変化に対応して個体間の競争関係が変化することで葉量に変化が生じ、林分あたりの葉量は一定に維持されると考えられた。

3) 間伐後の葉量変化の推定

高知県の間伐強度の異なるヒノキ6林分において、間伐による葉量の減少と間伐後10年間の葉量の回復量を明らかにした(図6)。温度条件を考慮したパイプモデルアロメトリー式を用いて樹高、生枝下高、胸高直径から葉量を求めた。間伐前の葉量は14.9~19.7 Mg/haであった。間伐によって葉量は3.9~10.3 Mg/ha減少し、その割合(20~69%)は材積の間伐率に近かった。間伐10年後の葉量は6.8~18.3 Mg/haであった。間伐による葉量減少に対する10年間の葉量増加の割合は21~65%であり、回復期間は15~49年と

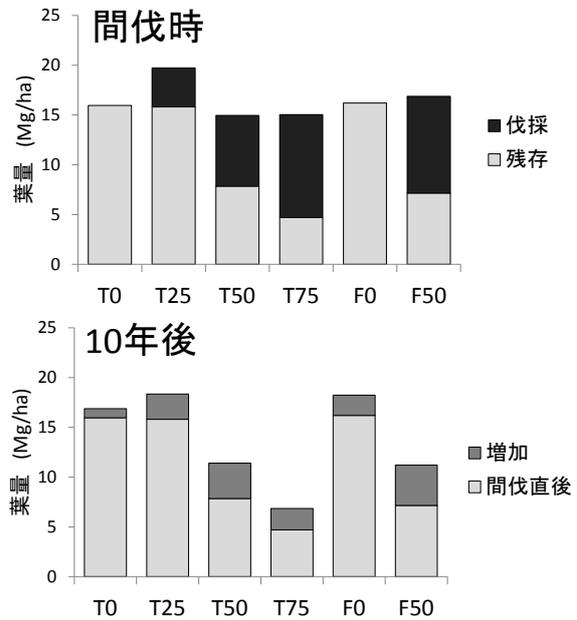


図6 間伐時の葉量減少と10年後の葉量増加

推定された。相対照度による回復期間は8~64年、樹冠長に基づくモデルによる回復期間は12~68年と推定された。これらの値は枯れあがりの生じていない林分では近い値を示した。

強度に間伐した調査区で葉量の回復期間が長かった。間伐後の葉量の回復は、枯れあがりの大きい林分で小さい傾向が認められた。本調査地では間伐林分においても枯れあがりが生じることを示し、間伐後の葉量を推定する際には生枝下高の変化を考慮した手法が適切であると考えられた。

4) 異なる地形条件における葉寿命の推定

葉量は斜面上部、中部、下部でそれぞれ14.1, 16.4, 15.3 Mg/haを示した。本調査地は斜面上部ほど貧栄養な条件であるが、斜面位置との対応は認められなかった。また、これらは既報の範囲内の値を示した。本研究の結果も、ヒノキ林の葉量は気象条件、土壌条件に関わらず比較的一定の値を示すことを支持した。

年間落葉量は斜面上部、中部、下部の順に2.1, 2.6, 3.0 Mg/haを示し、斜面下部ほど大きい値を示した。葉寿命はそれぞれ6.8, 6.3, 5.1年で、斜面下部ほど短い値を示し、貧栄養な上部ほど長い傾向が認められた。ヒノキの葉寿命には土壌の窒素資源が影響していることが示唆された。

まとめ

ヒノキ林においては、温度条件を考慮したパイプモデルに基づくアロメトリーによって葉量を推定することができた。このアロメトリー式を異なる気象条件、地形条件の林分に適用した結果、葉量が比較的一定であることが明らかになった。またこのアロメトリー

式を間伐後の林分に適用し、葉量の変化を明らかにした。ヒノキは環境変化に対応して、樹冠長を変化させていることが明らかになった。

本研究の知見より、パイプモデルに基づくアロメトリー式は、ヒノキの葉量を高精度に推定できる優れた手法であることが明らかになった。さらに本手法を用いることで、環境条件に対する、葉の維持機構を理解するうえで重要な示唆を得ることができた。今後、葉量を簡易に推定する本手法を活用することにより、ヒノキ林の葉量および葉寿命に影響を及ぼす要因を明らかにできると考えられる。本手法を実際の森林管理の現場に適用し、森林の状態を理解する有効なツールとして活用することが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ①稲垣善之、宮本和樹、伊藤武治、北原文章、酒井寿夫、奥田史郎、野口麻穂子、光田靖 (2015) 高知県のヒノキ人工林における樹冠葉量の推定 森林応用研究 24:11-18 (査読有)
- ②中西麻美、稲垣善之 (2016) 京都市内の二次林におけるヒノキの樹冠葉量と葉寿命の推定. 森林応用研究 25(1): 15-22 (査読有)
- ③稲垣善之、深田英久、野口享太郎、倉本恵生、中西麻美 (2018) 高知県のヒノキ人工林における間伐後の樹冠葉量の変化. 森林応用研究 27:1-9 (査読有)

[学会発表] (計14件)

- ①中西麻美、稲垣善之: 京都市内の二次林におけるヒノキの樹冠葉量と葉寿命の推定. 第65回応用森林学会大会 2014年
- ②稲垣善之、宮本和樹、伊藤武治、北原文章、酒井寿夫、奥田史郎、野口麻穂子、光田靖: 高知県のヒノキ人工林における樹冠葉量の推定. 第65回応用森林学会大会 2014年
- ③稲垣善之、酒井敦、宮本和樹: ヒノキ林における葉量と窒素吸収量の推定. 地球惑星科学連合大会 2014年大会 2014年
- ④中西麻美、稲垣善之、柴田昌三、大澤直哉: ヒノキ二次林における葉寿命と窒素利用特性の関係. 第126回日本森林学会大会 2015年
- ⑤稲垣善之、宮本和樹、中西麻美: 気象条件の異なるヒノキ林における樹冠葉量の推定. 日本生態学会中国四国地区大会 2015

年

- ⑥ 稲垣善之、野口享太郎、平井敬三、金子真司: 立木密度の異なるスギ人工林における窒素利用様式の変動. 第63回日本生態学会大会 2016年
- ⑦ 稲垣善之、野口享太郎、倉本恵生、中西麻美、深田英久: ヒノキ人工林における間伐後の樹冠葉量と窒素利用の変化. 第67回応用森林学会 2016年
- ⑧ 中西麻美、稲垣善之: 貧栄養な条件におけるヒノキの樹冠の窒素滞留時間と葉寿命. 名日本地球惑星科学連合 2016年大会 2016年
- ⑨ 稲垣善之、中西麻美、丹下健: 地位が異なるスギ林分における樹冠葉量の推定. 第128回日本森林学会大会 2017年
- ⑩ 稲垣善之、中西麻美、深田英久: 高知県の人工林における間伐後の樹冠葉量の回復. 日本生態学会中国四国地区大会 2017年
- ⑪ 稲垣善之、宮本和樹、奥田史郎、野口麻穂子、伊藤武治: 高知県の地形の異なるヒノキ林における樹冠葉量の推定. 地球惑星科学連合大会 2017年大会, 2017年
- ⑫ Inagaki Y, Miyamoto K, Okuda S, Noguchi M, Itou T: Leaf life span and mean residence time of nitrogen in hinoki cypress forests in Japan. BIOGEMOM 2017年
- ⑬ 稲垣善之、深田英久、渡辺直史、中西麻美、鵜川信: 間伐後のヒノキ人工林における葉寿命の推定. 第65回日本生態学会大会 2018年

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中西 麻美 (NAKANISHI Asami)
京都大学・フィールド科学教育研究センター・助教
研究者番号: 60273497

(2) 研究分担者

稲垣 善之 (INAGAKI Yoshiyuki)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所四国支所・主任研究員
研究者番号: 00353590