

透明かつ検証可能な手法による炭素吸収源の評価に関する研究

(5) 人工林材の容積密度に関する研究

独立行政法人森林総合研究所

木材特性研究領域

組織材質研究室

藤原 健・山下香菜

木材特性研究領域

平川泰彦

平成13～15年度合計予算額 10,758千円
(うち、平成15年度当初予算額 3,660千円)

[要旨] 本課題では、樹木地上部のバイオマス蓄積量及び木部の容積密度などのデータを取得することを目的として、主要造林樹種の収穫試験地から採取した個体の地上部バイオマスの計測、容積密度の測定及び樹幹内での密度変動について解析した。各樹種について調査区ごとに平均密度を比較すると、ヒノキでは調査区間でほとんど差がみられず地域差は検出されなかった。スギでは、下る川山試験地の強度間伐区を除けば平均値に差はみられなかった。カラマツはスギ及びヒノキに比べて調査区間での平均値の差が大きく、調査区間で有意差がある組み合わせが存在した。また、同一試験地に間伐区と無間伐区があるものについて比較してみると、無間伐区の方が間伐区よりも密度が高い傾向にあった。樹種ごとの全乾容積密度の平均値は、スギ 0.314 ± 0.008 、ヒノキ 0.401 ± 0.010 、カラマツ 0.409 ± 0.013 、ウラジロモミ 0.359 ± 0.017 、エゾマツ 0.338 ± 0.008 、トドマツ 0.323 ± 0.007 、アカエゾマツ 0.370 ± 0.010 であった。調査個体数が多いスギ、ヒノキ、カラマツの中では、調査区の平均値間で有意差がみとめられたカラマツは誤差率が3.2%と、スギの2.7%やヒノキの2.4%に比べてやや大きな値を示した。

気乾密度の樹幹内分布には樹幹下部で密度が低いパターンと密度が高いパターンの2つのパターンが認められた。前者にはスギ及びヒノキが該当し、後者にはカラマツ、エゾマツ、トドマツ、アカエゾマツが該当した。これらのパターンの違いは、若齢時に形成される部分(髄周辺部)の密度が外周部よりも前者では高く、後者では低いことに起因すると考えられる。

[キーワード] 人工林材, 容積密度, 樹幹内変動, 年輪解析, バイオマス蓄積

1. はじめに

人為的活動による温室効果ガス濃度の上昇により温暖化が進行しつつあり、気象災害をもたらす異常気象の頻発が心配されている。このため、国際的に温室効果ガスの排出削減に取り組む動きが加速し、現在では、国連気候変動枠組条約及び京都議定書を批准することにより温室効果ガスの削減義務を負うことになった。京都議定書第3条は、直接的かつ人為的な土地利用変化及び林業活動から生じる温室効果ガスの排出・除去の純変化を約束の履行のために用いること、温室効果ガスの発生源による排出と吸収源による除去は、透明かつ検証可能な方法で報告されることを定めている。さらに第8条では専門家によるレビューチームが第7条の規定に従って提出する情

報を検討することが定められている。これらの規定をクリアできる測定手法に基づいて森林の炭素固定量を計算できるモデルを開発する必要がある。

2．研究目的

京都議定書が規定する森林による温室効果ガス吸収量を推定するために、森林の炭素貯留量の変動を透明かつ検証可能な方法で計測するシステムを開発する必要がある。このシステムでは、幹直径、樹高、一部の環境条件など林分固有のパラメータを測定することによって、高い信頼性で林分が獲得する炭素量を推定できるようにすることが望まれる。このようなシステムモデルの信頼性を担保するためには、林分固有のパラメータの測定精度を高めることはもちろん、それ以外の基本パラメータの科学的信頼性を高めることが必要である。本課題では、モデルシステムを作る上で必要となる基本パラメータのうち、樹木地上部のバイオマス蓄積量及び木部の容積密度などのデータを取得することを主たる目的とする。

3．研究方法

(1) 地上部及び下層植生の全乾重量の測定

地上0.2m部位から頂端まで1mごとに約5cm厚さの円板を採取した。直径が約10cm以上の円板からは髄を含む密度測定用ストリップを作製し、その残部とストリップを採取しなかった小径の円板を全乾重量の測定に供した(60℃で24時間、102℃で6日間)。密度測定用ストリップを作製したものについては、全乾重量測定用試料の円板に対する重量比から円板の全乾重量に換算した。試料の全乾重量から試料採取時の円板と丸太の重量比により、1m丸太の全乾重量に換算した。また、丸太重量を合計して樹幹の全乾重量とした。

(2) 全乾容積密度の測定

胸高部から5mm厚さの薄片を採取し、減圧により水を注入した後、飽水状態になるまで水中で貯蔵した。飽水状態になった試験体の重量(飽水重量)及び飽水材の水中での重量(水中重量)を測定した。飽水状態の試験体を2日間風乾した後、60℃で24時間、ついで102℃で3日間乾燥して全乾重量を測定した。全乾重量を飽水重量と水中重量の差で除したものを全乾容積密度(全乾重量/生材体積)とした。

注：この方法(浮力法)は、飽水材の重量と水中重量の差が浮力(試験片と同体積の水の重量)になることから、不定形の試験片の飽水状態での体積を測定する方法である。木材は繊維飽和点(含水率27~30%)以上の含水率では体積が変化しないため、飽水材と生材の体積は等しい。従って、生材体積ベースの全乾容積密度が必要なこの研究の目的に合致している。

(3) 軟x線による年輪解析

密度測定用ストリップから作製した2mm厚さの木口薄片を恒温恒湿室内(20℃, 65%)で調湿して試験片の含水率(気温と相対湿度から想定される含水率は11%である)を平衡させ、密度既知の標準吸収体とともに軟x線撮影を行った(20kVp, 14mA, 4分)。軟x線ネガフィルムを年輪構造解析装置(Dendro2003あるいはMicrodensitometer M3C)でスキャンし、測定部位の透過光の強度と標準吸収体の透過強度との比較によって、密度値のプロファイルに変換した。密度プロファイル上で年輪界を特定し、年輪幅及び1年輪ごとの平均密度(年輪内平均密度)を測定した。

4. 結果・考察

(1) 地上部及び下層植生の全乾重量

地上部及び下層植生の全乾重量については、試験体の全乾重量の計測を行ったのみである。これらの全乾重量に関する解析はサブテーマ1で行っているため、ここでは結果を省略する。本プロジェクトで予定された40林分161個体の地上部重量の測定（樹幹、生枝、葉、枯れ枝）と、のべ48試験地の下層植生（同化部、非同化部、枯れ）についての測定を完了した。

(2) 全乾容積密度の試験地別、樹種別平均値

スギの胸高部から採取した試料について測定した全乾容積密度の調査区ごとの平均値及びその95%信頼区間を図1に示す。各4個体の平均値であるが、調査区による全乾容積密度の平均値の差はごくわずかであった。また、間伐区及び対照区が測定対象となった4試験地について間伐区と対照区の平均容積密度を比較してみると、いずれの試験地においても対照区の方がやや容積密度が高かったが、有意差はみとめられなかった。したがって、地域や間伐などの密度への影響は小さいと考えられた。ヒノキについてもスギと同様で、試験地ごとの平均値に大きな差はみとめられなかった（図2）。試験地ごとの平均値は、立石試験地の無間伐区を除けば $0.390\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.402\text{g}/\text{cm}^3$ の間に分布しており、試験地が関東、中部、九州と広い範囲に点在するのに対して試験地間差は極めて小さいと考えられた。カラマツでは、安良沢での $0.366\text{g}/\text{cm}^3$ から余市での $0.452\text{g}/\text{cm}^3$ までの範囲で、試験地間のばらつきがスギ及びヒノキに比べて大きかった（図3）。北海道・東北地方の試験地（余市、朝日沢、横向）では岐阜県の試験地（一ツ梨、濁河、秋神）に比べて密度が高い傾向が認められるが、東北地方の試験地でも小柵沢試験地（岩手県遠野市）のように密度が低い試験地もあり、カラマツの容積密度に地域差があるのかどうかは明確ではない。北海道産の針葉樹3種（エゾマツ、トドマツ、アカエゾマツ）では、樹種ごとにみた場合には平均値間に有意差はみとめられなかった（図4）。

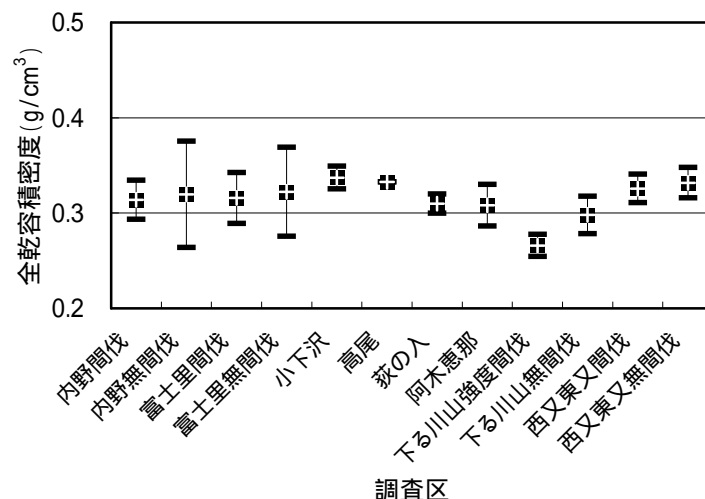


図1 スギの全乾容積密度の調査区別平均値及び95%信頼区間

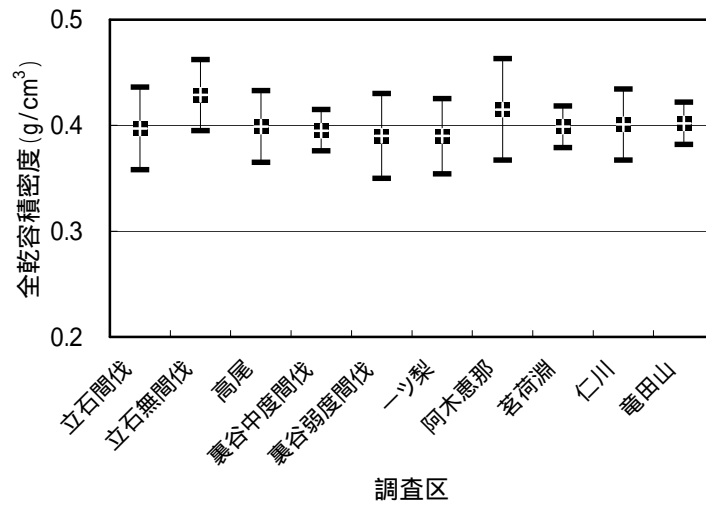


図2 ヒノキの全乾容積密度の調査区別平均値及び95%信頼区間

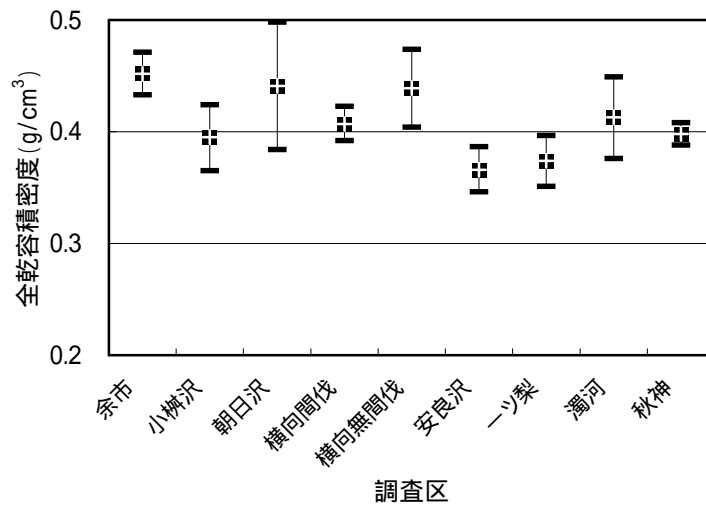


図3 カラマツの全乾容積密度の調査区別平均値及び95%信頼区間

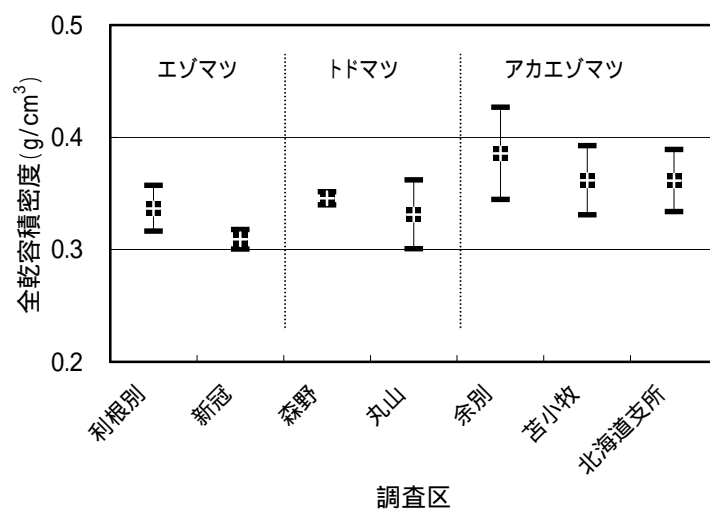


図4 北海道産3樹種の全乾容積密度の調査区別平均値及び95%信頼区間

各樹種ごとの平均容積密度及び95%信頼区間を表に示す。測定個体数が多いスギ、ヒノキ、カラマツの3樹種については、95%信頼区間は概ね0.01g/cm³程度であり、誤差率が2.4～3.2%の範囲に収まった。

表 樹種ごとの平均容積密度，平均値の95%信頼区間及び誤差率

樹種	個体数	平均密度 (g/cm ³)	標準偏差 (g/cm ³)	95%信頼区間 (g/cm ³)	誤差率 (%)
スギ	44	0.314	0.028	0.008	2.7
ヒノキ	39	0.401	0.031	0.010	2.4
カラマツ	36	0.409	0.039	0.013	3.2
ウラジロモミ	4	0.359	0.033	0.017	9.1
アカエゾマツ	12	0.370	0.033	0.010	5.1
エゾマツ	8	0.338	0.022	0.008	4.5
トドマツ	8	0.323	0.021	0.007	4.5

(3) 気乾密度の樹幹内変動

気乾密度は樹幹内で一定ではなく、樹幹下部から樹幹上部に増加するあるいは減少するパターンが認められた。樹幹下部から密度が増加するパターンを示したのはスギ及びヒノキで、これらでは地際部(0.2m部位)及び胸高部(1.2m部位)の密度に対して樹幹上部では5～10%程度密度が高かった(図5)。一方、カラマツ、エゾマツ、アカエゾマツ、トドマツでは、樹幹下部に対して樹

幹上部では5%程度密度が低かった（図6）。これらのパターンの違いは、各高さごとの密度の半径方向変動パターンの違いによるものであり、髓近くの若齢時に形成された部位で密度が高いスギやヒノキと、若齢時に形成された部位の密度が低いカラマツなどでは高さ方向の変動パターンに違いが生じたと考えられる。

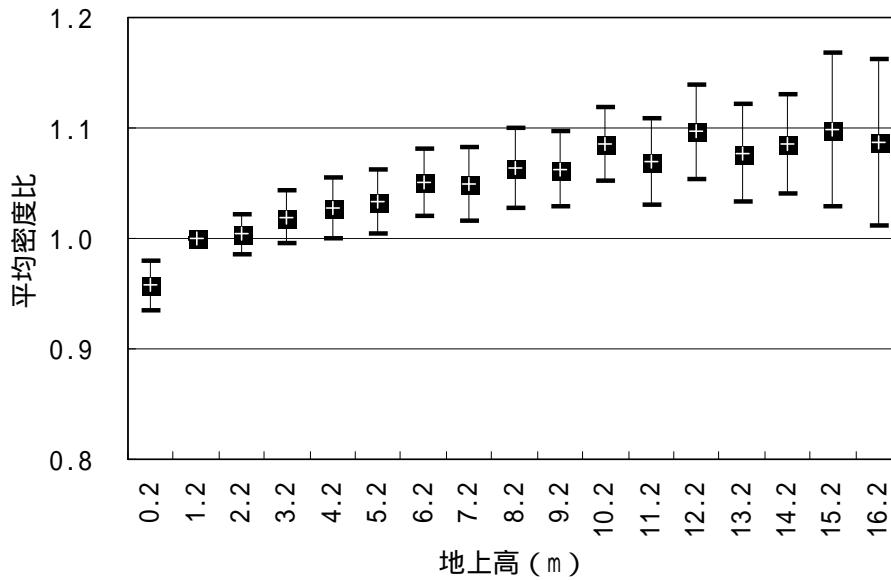


図5 スギの気乾密度の樹幹高さ方向変動
エラーバーは95%信頼区間を示す。

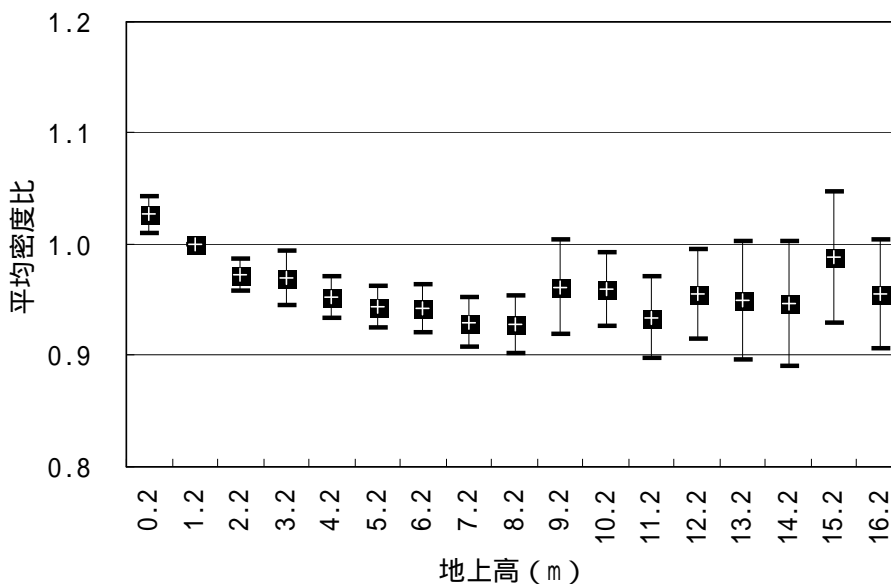


図6 カラマツの気乾密度の樹幹高さ方向変動
エラーバーは95%信頼区間を示す。

(4) 胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係

密度は主として胸高部について測定されることが多い。地上部バイオマスを検討する場合には幹全体の平均密度を求め、胸高部平均密度との関係を検討しておくことも必要であると考えられる。地上高0.2m部位から樹幹上部の直径10cm程度の部位までについて、それぞれ円板の平均密度を求め、その円板が属する1m丸太の重量により重み付けして樹幹平均密度を算出した。胸高部平均密度と樹幹平均密度の関係は、回帰係数が1を越えるグループ(スギ及びヒノキ)と回帰係数が1未満のグループ(カラマツ, エゾマツ, トドマツ, アカエゾマツ)に区分できた(図7~10)。これは、胸高部で密度が低いグループと高いグループのように樹幹内の密度分布のパターンが異なるためと考えられた。

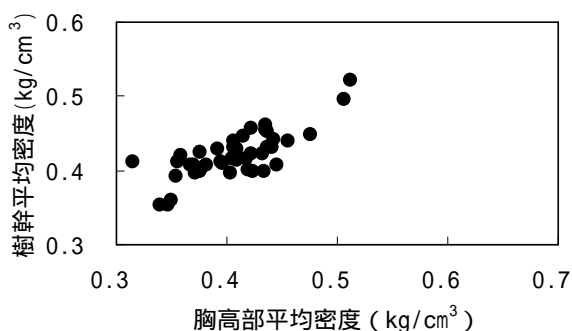


図7 スギの胸高部密度と樹幹密度の関係

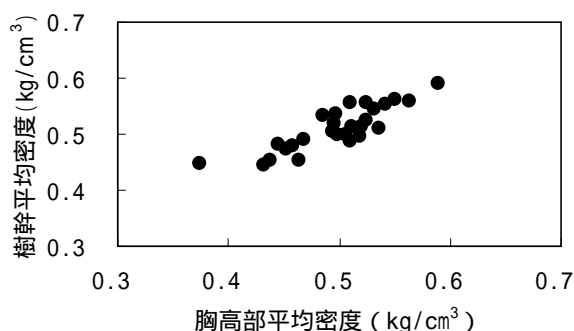


図8 ヒノキの胸高部密度と樹幹密度の関係

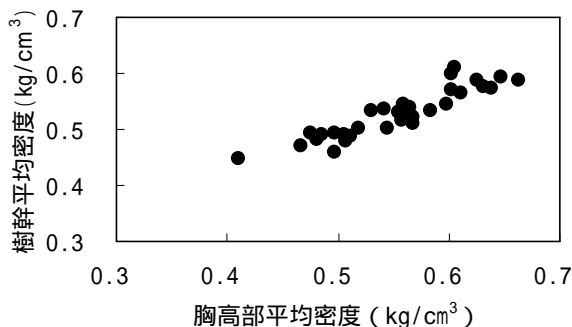


図9 カラマツの胸高部密度と樹幹密度の関係

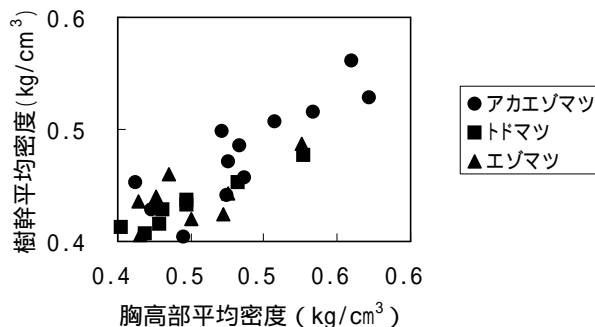


図10 北海道産3樹種の胸高部密度と樹幹密度の関係

5. 本研究により得られた成果

樹種ごとの全乾容積密度の平均値は、スギ 0.314 ± 0.008 , ヒノキ 0.401 ± 0.010 , カラマツ 0.409 ± 0.013 , ウラジロモミ 0.359 ± 0.017 , エゾマツ 0.338 ± 0.008 , トドマツ 0.323 ± 0.007 , アカエゾマツ 0.370 ± 0.010 であった。スギとヒノキについては試験地が関東から中部, 四国, 九州と広く分布しているにもかかわらず, 調査区による平均値の差はわずかであり, 調査した範

圃では地域差を考慮する必要がないと考えられる。一方、カラマツでは調査区によっては他の調査区と有意な差が認められる場合があったが、この差が成育地域の違いによるのか種苗の遺伝的な背景の違いであるのかは不明である。

6．引用文献

なし

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

藤原 健：森林総合研究所研究報告、2,199-206(2003)

「カラマツの細胞壁率に及ぼす仮道管横断面寸法の影響」

(2) 口頭発表

藤原 健：2002年度年輪研究会 (2002)

「炭素吸収量評価のための立木地上部の重量推定」

藤原 健：第53回日本木材学会大会 (2003)

「年輪解析によるスギ樹幹の年間重量成長量の推定」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

本研究で求めた樹種別平均容積密度は、立木材積からの全乾重量の推定に際して用いられる標準データの一部として用いられる。