

平成21年 5月29日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18780110

研究課題名（和文） 航空機 LiDAR データによる広葉樹資源量モニタリング手法開発

研究課題名（英文） Estimating broad-leaved secondary forests resources using airborne LiDAR

研究代表者 松英 恵吾（MATSUE KEIGO）

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：20323321

研究成果の概要：本研究では従来、モニタリング手法が確立しておらず、正確な資源量把握が困難であった広葉樹を対象に航空機に設置したレーザーを使用した測定器による測定データを活用することで、林冠表面ならずその内部の構造を把握し、より詳細な広葉樹についての資源量モニタリング手法を開発した。開発に際し、様々な樹種、林齢等、林相の異なる林分を対象に多くの現地調査を実施し、検証を重ねるとともにそのモデルの汎用性を高めた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成18年度	2,500,000	0	2,500,000
平成19年度	500,000	0	500,000
平成20年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	150,000	3,650,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・森林工学

キーワード：森林計測、リモートセンシング、航空機 LiDAR、資源量推定

## 1. 研究開始当初の背景

気候変動枠組条約に関する一連の議論において森林を二酸化炭素の吸収源としてとらえる動きが出てきており、加えて国内でも森林環境税、森林の機能区分などの問題が生じているが、これらの問題を考える上で大きな課題となるのが、森林資源の正確なモニタリングである。これらの諸問題を解決するには広域に対して詳細なデータを定期的に取り得るモニタリング手法が必要となる。さらにこれまで森林簿、森林調査簿では人工針葉樹林の資源情報が中心に扱われてきており、「その他雑木林」として扱われてきた広葉樹林に関する情報は非常に乏しい。これからは

木材生産のみならず、森林の公益的機能の発揮に向けた総合的な森林資源管理を行っていく必要があり、人工針葉樹林のみならず、森林域全体の資源情報の整備が急務である。しかし、現在のところ広葉樹林に対しては林分の構成が複雑で調査が困難なため抜本的な解決策は見つかっていない。

一方、航空機やヘリコプターに搭載されるレーザースキャナによる計測技術は大幅に進歩している。このレーザースキャナは航空機などからレーザーパルスを発射し、上層木樹冠の枝葉、下層木、地表面等で反射したものをセンサで測定するもので、レーザースキャナによる観測データはLiDARデータと呼ば

れている。森林域ではファーストパルスで樹冠部を、ラストパルスで林床部の形状を計測することができ、解像度 50cm 程度で面的に森林の樹冠表面、林床の形状を計測することが可能となる（ファーストパルスとラストパルスの差分により樹高を計測することも可能となる）。これに高解像度衛星データによる分光スペクトル情報を加えることで樹種の識別も可能となる。これまで私は樹木の枝葉の形状を実測することで樹冠形状のモデル化を行い、樹冠量と樹高、胸高直径、蓄積等との関係を明らかにし、これらの樹冠部に関するモデルを組み合わせて人工針葉樹林を対象に LiDAR データによる資源量推定モデルを構築してきた。その結果、LiDAR データにより高い精度で資源量推定ができることを明らかにした。この人工林を対象とした解析の過程で、林冠面を透過したものの林床まで到達しないパルスデータ（通常ノイズとして除去されるデータ）が下層の雑木、下層植生をとらえていることを確認した。広葉樹林に対してこの特性を利用すれば、林冠表層のみならず林冠内部の林分構造を測定することができ、広葉樹林の資源モニタリングへの応用が可能であると考えられる。しかし、レーザープロファイル計測技術が森林資源モニタリングに応用できるレベルに達したのが最近のことで、まだ同様の研究事例はまだ十分に積み上げられていない状態である。特に広葉樹林を対象にした研究はほとんど行われていない。

## 2. 研究の目的

本研究ではヘリコプター搭載型 LiDAR 計測データ（計測面積 250ha、計測ポイント数約 10point/m<sup>2</sup> の高精度データ）を使用し、これまで人工針葉樹林を対象に培ってきた独自の LiDAR データ解析アルゴリズムをベースに、先に示したノイズデータを活用し広葉樹林を対象とした新しい解析アルゴリズムを開発し、計測区域内の広葉樹を対象に林冠表層のみならず林冠内部の林分構造（樹木個体の樹冠形状が得られる）を定量的に抽出する。その結果と現地調査結果をもとに森林簿データとして必要となる森林資源量（樹高、胸高断面積、蓄積等）、加えて生態学的に必要な LAI（葉面積指数）や被度等も含めた林分パラメータ推定モデルを構築した。

## 3. 研究の方法

調査対象地である宇都宮大学農学部附属船生演習林に樹種、林齢等、林相の異なる林分に対して測定区を設定し、測量用干渉測位

式の GPS を用いてより正確な位置特定を行った。この区域を LiDAR システムを搭載したヘリコプターで計測を行い、ファーストパルスデータ（以下、FP）、ラストパルスデータ（以下、LP）から樹冠表面と林床部の形状データ（数値標高データ）の生成を行った。また、同時にデジタルカメラにより航空写真を撮影した。一方、地上調査については、測定区内の広葉樹 2 次林において帯状調査法による資源量調査を、ケヤキ天然生林において植物相調査、相観植生分布調査、コドロード調査を実施した。

また、2 年目には FP、LP データの差分データから樹冠形の抽出を行った。対象区の樹冠形データから樹冠直径、樹冠表面積を算出し、広葉樹の樹冠形モデルの構築を試みたが、針葉樹における樹冠モデルとは違い、多様な樹種構成により単純なモデル化を行うことが困難であった。そのため、研究計画を変更し対象区を広げ、より多くパターン（樹種構成、林齢）のサンプルを追加することとし、LiDAR の観測域、全域の広葉樹林についての資源量調査を実施した。

3 年目には過去 2 カ年の成果をもとに、解析用、検証用の現地調査（広葉樹 32 林分）を追加した。その結果を用い前年度開発したアルゴリズムを再検討し、FP、LP の差分データ（DCHM）を算出し、得られ各パラメータについて蓄積量との回帰分析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 林分材積推定について

DCHM 体積と林分材積の回帰分析の結果、スギ・ヒノキについては過去の他の解析事例と同様に、傾き 0.003 で両樹種林分とも同一の回帰式で決定係数も大きな値 ( $R^2$ : 0.731 (ヒノキ図 1), 0.613 (スギ図 2)) となった。対して広葉樹では多少のばらつき ( $R^2$ : 0.548, 図 3) と他樹種林分との傾向の違いが認めら

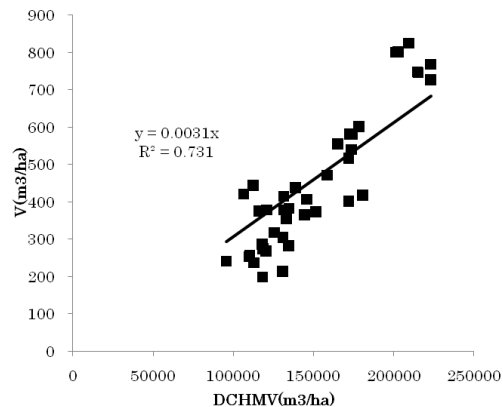


図 1 DCHM 体積と林分材積(ヒノキ)

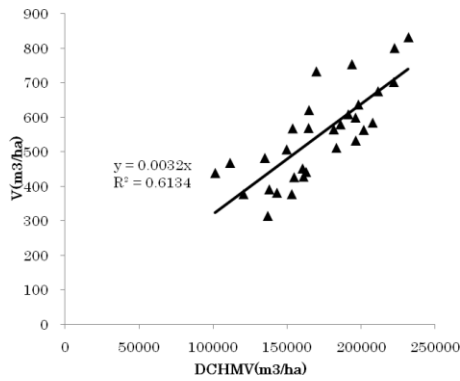


図2 DCHM体積と林分材積(スギ)

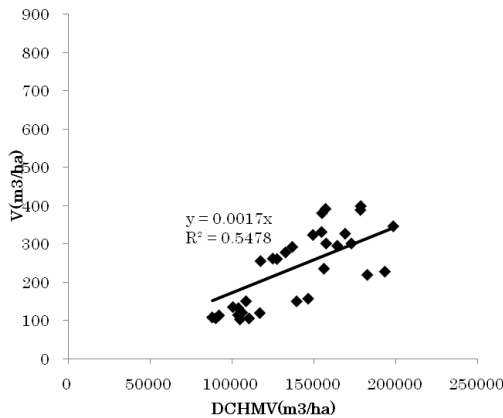


図3 DCHM体積と林分材積(広葉樹)

れた。これは広葉樹では①林相が均一ではないこと、②人工針葉樹林と比較すると林冠のボリュームに対して林分材積が小さいこと、③単層林ではないため林冠表層の計測データであるDCHMによる推定に限界があることが原因として考えられる。また、広葉樹の材積表の精度、現地調査方法についても課題がある。

#### (2) 林分材積成長量推定について

2004年、2006年の2時期のDCHMの差分をとり、林分成長量との回帰分析を行った結果、広葉樹、スギ、ヒノキとも良好な結果は得られなかった。これは、①期間が2年間と短いことにより変化量が小さいこと、②計測時期の多少の違い(9月、10月)により葉量に差異が生じること、③2時期データのDCHMデータの位置合わせ、レベル合わせの精度の問題が原因として考えられる。

#### (3) 亜高木層・低木層 Last パルス率

従来より林冠面を透過したものの林床まで到達しないパルスデータについてはノイズとして扱われてきたが、本研究による解析結果により、LPの地上到達率について検討したところ、対象地の広葉樹2次林では30%程

度で多くは林冠の表層近くもしくは中間層までしか到達しないことを把握できた。広葉樹2次林においてはDSMによる林冠面と地上まで到達したLPデータの補完により推定される林床面の差分により、その中間に留まったLPデータの相対高の分布と、現地におけるコドラート調査結果による亜高木層、低木層の分布の間に相関関係が認められることを確認した(図4)。地上に到達しなかった

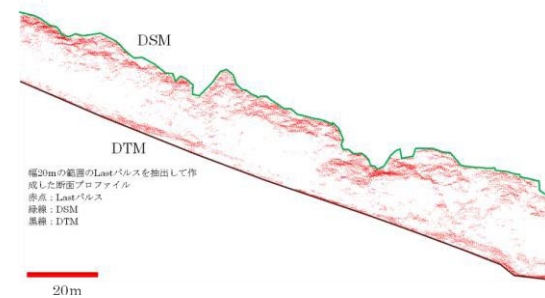


図4 亜高木層・低木層 Last パルスの分布

LPの内、亜高木層、低木層に該当する部分のパルスの割合を算出し、説明変数として追加して重回帰分析を行った結果、決定係数を改善すること( $R^2: 0.548 \rightarrow 0.676$ )ができ、資源量推定精度の向上を図ることができた。これらの知見は、既に実用化されている中間パルスを何段階かを観測できるLiDARデータやFPからLPまでの反射を連続的に観測することができる波形記録型LiDARデータを活用しより詳細な検討を行う際の基盤となるものである。

#### (4) 広葉樹樹種分類

樹種分類手法についてはデジタルオルソデータと高解像度衛星データを使用しオブジェクト分類により樹種分類を試みた。分類についてはスペクトルデータのバンド数不足やデジタルオルソの画質等の問題があり、実用に耐えうる分類精度を得ることが出来なかった。それを解決するためにテクスチャ特徴量としてはデジタルオルソフォトデータを使用し、さらにLiDARデータによる印影図による特徴量を組み合わせることで分類精度向上を図ることができた。

#### (5) 広葉樹資源量モニタリング手法開発

3カ年の成果(樹冠形モデル、樹種分類、資源量指定モデル)をもとに広域の面的な林分材積推定図(図5)を作成した。この推定図を核に2時期のDCHM体積の差分データを使用した成長量予測を加えて広葉樹2次林資源量モニタリング手法を確立することができた。

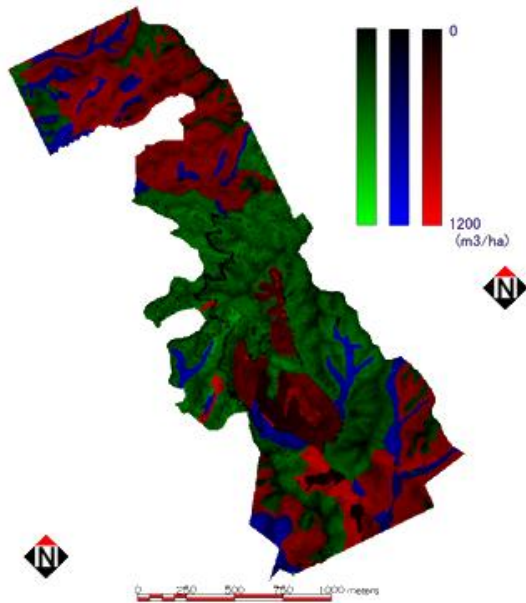


図5 林分材積推定図（広葉樹2次林：緑色）

#### 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5件）

①松英恵吾・有賀一広・執印康裕・田坂聡明・内藤健司、航空機 LiDAR データによる広葉樹2次林資源量モニタリング手法の開発、日本森林学会学術講演集、120、電子媒体、2009、査読無

②齋藤仁志・有賀一広・田坂聡明・松英恵吾、船生演習林 LiDAR を用いた交角法による地表面推定手法の開発、森林利用学会誌、22(4)、265-270、2008、査読有

③松英恵吾・伊藤拓弥・内藤健司、航空機 LiDAR による林分パラメータ推定方法の検討ー地上照射密度による林分パラメータ推定精度の違いー、日本森林学会学術講演集、118、電子媒体、2007、査読無

④T.Itoh,K.Matsue,K.Naito Application of crown form model for estimating forest resources using airborne LiDAR., Proc. of Silvilaser、171、2007、査読無

⑤伊藤拓弥・松英恵吾・内藤健司、LiDAR データによる森林資源量解析のための樹冠形モデルの検討、日本写真測量学会発論集、2006、133-136、2006、査読無

〔学会発表〕（計3件）

①松英恵吾・有賀一広・執印康裕・田坂聡明・内藤健司、航空機 LiDAR データによる広葉樹2次林資源量モニタリング手法の開発、第120回日本森林学会、2009年3月27日、京都大学

②松英恵吾・伊藤拓弥・内藤健司、航空機 LiDAR による林分パラメータ推定方法の検討ー地上照射密度による林分パラメータ推定精度の違いー、第118回日本森林学会、2007年4月2日、九州大学

③伊藤拓弥・松英恵吾・内藤健司、LiDAR データによる森林資源量解析のための樹冠形モデルの検討、日本写真測量学会平成18年次学術講演会、2006年7月6日、パシフィコ横浜

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

松英 恵吾 (MATSUE KEIGO)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：20323321