

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580196

研究課題名(和文) 航空機LiDARデータを利用した森林管理システムの開発

研究課題名(英文) Development of the forest management system by using airborne LiDAR data.

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,500,000円、(間接経費) 1,350,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では航空機LiDARデータによる樹木情報の計測手法と樹冠形状モデルを核とした単木単位での空間配置を考慮した成長予測モデルを組み合わせることで、広域を対象に詳細な単木情報を取得し成長予測までを行う総合的な森林資源管理システムを開発した。現地調査による検証を詳細に行い、解析技術の精度・効率の向上を図ることができた。その上で総合的な林況地況の評価、成長予測による施業効果の評価を実施し本システムの有用性を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is the development of integrated forest resources management system. The system consists of tree information measurement method of airborne LiDAR data and individual tree crown shape growth model. This system can evaluate the forest and get individual tree information in wide area. In this study was measured at many field surveys. It was used for accuracy verification. This result was improved analysis technology of precision and efficiency. This system evaluates the overall forest conditions and site conditions. Also, forest management effects were evaluated by the growth model. As a result, confirmed the usefulness of this system.

研究分野：森林学

科研費の分科・細目：森林科学

キーワード：航空機LiDAR 森林資源モニタリング 森林管理 森林計測 森林計画 森林評価

1. 研究開始当初の背景

我が国の森林は戦後の拡大造林期に植林された林分が想定された伐採時期に到達したことにより、従来の保育中心の管理から伐採更新を中心とする管理への大きな転換期を迎えている。その対応策として森林計画制度の重なる改正、森林の団地化、施業や路網インフラの集約化、森林の機能区分などを従来よりも戦略的に進める必要が生じているが、これらの問題を考える上で大きな障壁となるのが、森林資源の正確なモニタリング手法である。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得す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、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、資源情報の整備が急務である。しかし、現在のところ面積が広大でかつ林相、齢級など構造が複雑な森林域については、現地調査が困難なため資源情報の整備の抜本的な解決策は見つかっていない。

一方、近年地球観測衛星は1 m以下の高解像度のセンサを搭載したものが打ち上げられており、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も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、樹冠や幹、地表面等で反射したものをセンサで測定するもので、最初に反射されるファーストパルスと最後に反射されるラストパルスを観測することが可能である。この観測データは航空機LiDARデータと呼ばれている。森林域ではファーストパルス (FP) で樹冠部を、ラストパルス (LP) 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 (FPとLP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である。

これまで研究代表者は樹木の枝葉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てきた。これらの樹冠部に関するモデルを組み合わせスギ・ヒノキ人工林・広葉樹林を対象にLiDARデータによる資源量推定モデルを構築した。その結果、LiDARデータにより単木単位で樹木位置、樹高、樹冠の形状 (樹冠長、樹冠幅、樹冠表面積) を高精度で推定することを可能となり、その情報の集積によりサンプリングではなく、単木情報の集積による高い精度での資源量推定ができることを明らかにした。一方で枝葉の実測に基づく樹冠形状モデルについては、単木単位での空間配置を考慮した成長予測モデルまで拡張し、林分管理システムの開発を行った。このシ

テムでは単木単位での間伐などの施業シミュレーションによる成長予測が可能で、7年間にわたる検証試験によりその予測精度の高さを証明したが、システムの前提となる単木単位での樹木情報 (樹木位置、樹高、胸高直径、樹冠長、樹冠幅) を取得する事が困難で、現実利用する際の課題となってきた。

2. 研究の目的

本研究では、LiDARデータによる樹木情報の計測手法と樹冠形状モデルを核とした単木単位での空間配置を考慮した成長予測モデルを組み合わせることで、広域を対象に詳細な単木情報を取得し成長予測までを行う総合的な森林資源管理システムを開発することを研究目的に設定した。

3. 研究の方法

本研究では、スギ・ヒノキそれぞれについて植栽密度を1500、3000、6000、12000本と変えた密度効果試験地、人工林、広葉樹2次林など多様なパターンの林相を対象に最大で30年近く測定を続けてきている多くの固定試験地を含む、宇都宮大学農学部附属船生演習林 (図1) を対象地とした。

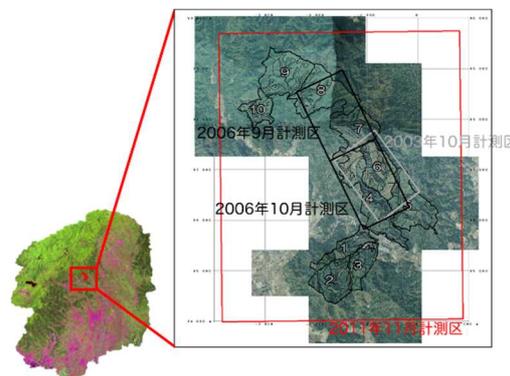


図1 研究の対象地とLiDAR計測区域

(1) 対象区のLiDAR計測データ (計測面積530ha、計測ポイント数約20point/m²の高精度データ) を使用し、対象区内の単木毎の情報 (位置、樹高、樹冠形状) を抽出した。抽出においても過去に開発した手法の改良を試みることで、解析技術の発展を目指した。

(2) 対象区内の固定試験地について (樹木位置は測定済み)、検証用の調査 (樹高、樹冠形状、胸高直径) を実施し、LiDARデータから抽出されたデータの検証を行い、LiDARデータによる単木毎の情報抽出精度を明らかにした。また、抽出されたパラメータから林地生産力の評価、密度管理状況の評価、地利評価など林況を把握するための指数の推定も同時に試みた。

(3) 過去 (2003、2006年) に同じ対象区で測定された2時点のLiDARデータと今回測

定するデータの3時点のLiDARデータを使用しLiDARデータベースでの成長量変化を算出した。同時に過去2時点の現地検証用調査結果と今回の調査結果を基に成長量についても検証を行った。この結果を基にLiDARデータベースの単木単位での空間配置を考慮した成長予測モデルの構築を試みた。既に開発済みの単木単位での空間配置を考慮した成長予測モデルにLiDARデータから抽出された単木毎の情報を入力し、成長シミュレーションを行い、予測精度の検証を実施した。

(4) 以上の結果を基に広域を対象にした森林資源管理システムの開発を行った。このシステムが実現すれば、広域について単木単位での成長予測が可能となるものである。

4. 研究成果

(1) LiDAR計測データについて点群データのフィルタリング処理(地上開度を基準とする樹頂点判別処理)を実施し、対象区域より計1,247,380本の樹頂点(TP)を抽出し樹木位置データを算出した。また、FPデータから生成した表層モデル(DSM)とLPデータから生成した地表面モデル(DTM)の差分による林冠高モデル(DCHM)を算出しTPデータと組み合わせることで、樹高、樹冠形状データの抽出を行った。点群データとDCHMデータを組み合わせることで森林資源情報を抽出することで解析の精度・効率の向上をはかることができた。

(2) 研究実施期間に検証用データとして対象地において29林分、合計面積4.02ha、5229本の毎木調査を実施し、各解析における検証に使用した。単木毎の情報抽出については林相や林況による差があるものの、立木密度2,000本/ha以下の林分においては概ね80%以上の単木抽出精度が確認された。一方、高密度林分(4,000本/ha以上)においても検証を行ったが、上層の優勢木を中心に50%程度の抽出率にとどまった。このような高密度林分は試験目的で造成されている特殊な林分で一般的にはほぼ存在せず、特に本システムの有用性には影響しないものと考えられるが、今後抽出アルゴリズムの検討による改善の余地が確認された。

抽出結果の実用性を確認した上で、森林資源管理に利用するために、林地生産力の評価、密度管理状況の評価、地利の評価に関する指標の検討を行った。それぞれの指標については単木単位の情報ソースとして、森林資源管理に適正な空間スケールを検討し算出を行った。現在、一般的には森林情報は森林簿、森林調査簿による林小班を情報の単位としている。一方、単木単位の情報とそのスケールのまま評価に利用することは、空間的傾向をとらえる点で適切ではない。本研究では数通りの空間スケールについて検討を行い、その結

果10mメッシュデータを指標の基準単位とすることが適正であるとの結論を得た。従来の情報単位では小班内の差異は検討することができなかったが、本研究による空間スケールでは林況地況を詳細に確認することが可能となった(図2)。

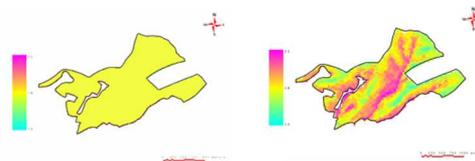


図2 小班単位の森林情報(左)と本システムによる森林情報(右)

この空間スケールを基準として単木単位の情報を集計し基準面積あたりの立木本数(DTNM)(図3)、平均樹高(DTHM)(図4)を算出した。

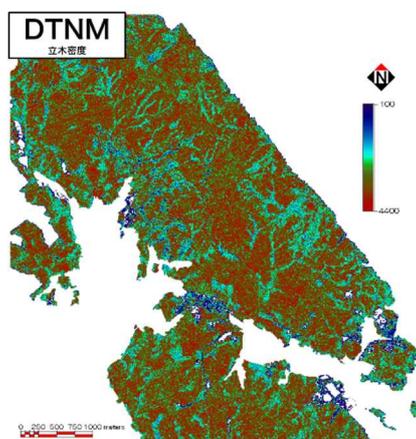


図3 DTNM データ

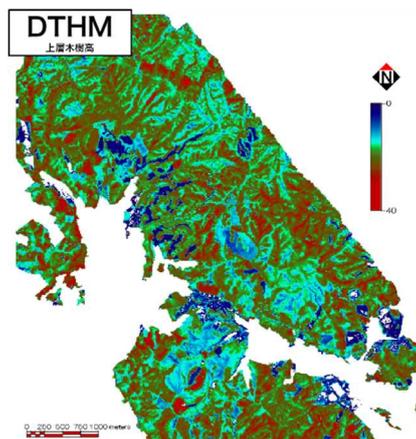


図4 DTHM データ

これらの基準データから林地生産力の評価として地位指数(SI)、密度管理状況の評価指標として相対幹距比に基づく要間伐林抽出指数(Sr)、収量比数(Ry)を算出し地況林況の評価指標とした。SIについては通常、現状の樹種毎に評価されるものであるが、本研究ではDTMによる地形因子による計算モデルを開発し、林相を統一した地位評価を可能と

した (図5)。

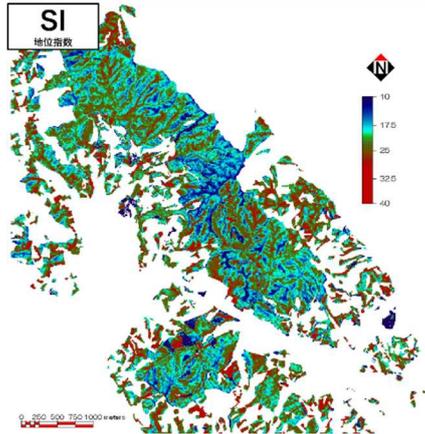


図5 SI データ

Sr については樹木の伸長成長ステージ毎の密度管理状況の評価できる指標として算出した。この指標から通常一般的に使用されている Ry への変換も可能とした (図6)。

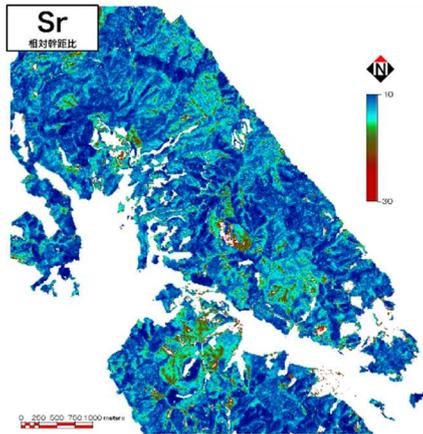


図6 Sr データ

さらに DTM から路網を抽出し既存の路網図を更新し、路網の幅員、傾斜、舗装の有無をもとに Cost Pass 解析を実施し、仮定した作業システムに基づく総合的な地利級評価を行った (図7)。

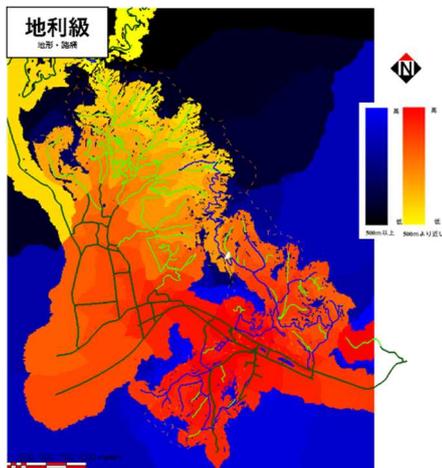


図7 地利級データ

(3) 3 時期の LiDAR データを用いて成長量の算定・評価を行った。本研究の対象地では対象の期間中に東日本大震災の影響により水平方向で 1m 程度の地殻変位が生じており補正処理した上で解析を行った。成長量の解析対象地は単木単位での成長差をより効果的に評価することを想定し、対象期間内に列状間伐が実施された林分とした。対象地には 1 伐 3 残、2 伐 3 残、2 伐 4 残の間伐区と対照地の無間伐区が設定されている。本研究のシステムにより抽出された単木情報により樹冠形状モデルの必要パラメータを算出・適用し成長量の解析を実施し、現地調査結果との比較検討を行った (図8)。

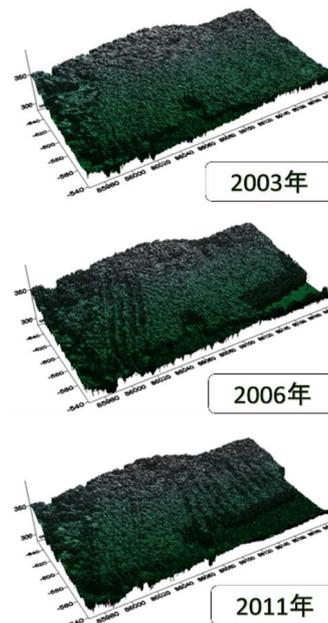


図8 時系列データによる成長量解析

その結果、単木を単位とする成長量の算定・評価が可能であることを確認した。また、間伐区では単木の空間的な位置関係、樹冠の構造の関係から、間伐後の樹冠形状の動態、樹幹部の成長量の評価が可能で、詳細な間伐効果の定性的・定量的評価結果を得ることができ、本研究によるシステムの有用性を確認することができた。

(4) 以上の研究結果を踏まえて森林資源管理システムとして機能を整理・統合した。システムの概要を図9に示す。

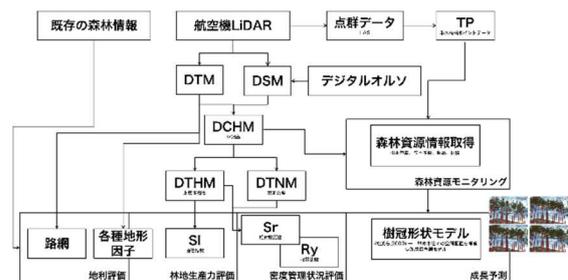


図9 森林資源管理システムの概要

詳細なモニタリング結果に基づく各評価項目、成長モデルを統合することで、実際の森林の林況・地況に応じた森林資源管理を実践することが可能となる。本研究では構築したシステムを森林経営計画に応用することを想定し、多重クロス集計による多重対応分析した分類結果を用いて作業級の再区分（空間的再区分のみならず施業体系を含めた再検討）を試行した（図 10）。

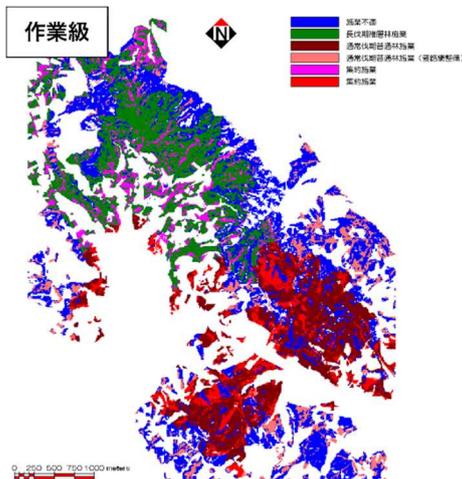


図 10 作業再区分試行結果

その結果、本システムの森林経営計画への応用の可能性を提示することができた。

以上の結果より、LiDAR データによる樹木情報の計測手法と樹冠形状モデルを核とした単木単位での空間配置を考慮した成長予測モデルを組み合わせることで、総合的な林況地況の評価、成長予測による施業効果の評価までを行う総合的な森林資源管理システムを構築することができた。

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 12 件）

- ① 松英恵吾、宇都宮大学船生演習林スギ密度効果試験地定期測定資料(II)、宇大演報、査読無、49、2014、印刷中
- ② 松英恵吾、逢沢峰昭、大久保達弘、田坂聡明、宇都宮大学船生演習林ヒノキ列状間伐試験林定期測定資料(I)、宇大演報、査読無、49、2014、印刷中
- ③ 松英恵吾、山崎光、富田咲伎、執印康裕、有賀一広、田坂聡明、航空機 LiDAR データによる森林資源管理システムを活用した森林モニタリング、日林講、査読無、125、2014、p227
- ④ 執印康裕、松英恵吾、有賀一広、田坂聡明、堀田紀文、降雨及び人工林における林齢空間分布の経時変化が表層崩壊発生に与える影響評価について、緑化工学会誌、査読有、39(1)、2013、27-32

- ⑤ 大野真紀、松英恵吾、森林情報集約のためのオンラインデータベースシステム開発—宇都宮大学農学部附属船生演習林を対象として—、日林講、査読無、124、2013、p222
- ⑥ 松英恵吾、執印康裕、有賀一広、田坂聡明、航空機 LiDAR 計測データによる森林資源管理システムの開発、日林講、査読無、124、2013、p96
- ⑦ 松英恵吾、宇都宮大学船生演習林 LiDAR 計測資料(III)、宇大演報、査読無、48、2013、73-76
- ⑧ 松英恵吾、航空機 LiDAR 計測データの森林管理への応用について、日林講、査読無、123、2012
- ⑨ 伊藤拓弥、松英恵吾、執印康裕、内藤健司、本数密度の異なるスギ・ヒノキ林における航空機 LiDAR による単木の立木幹材積推定、写真測量とリモートセンシング、査読有、50(1)、2011
- ⑩ 執印康裕、堀田紀文、松英恵吾、有賀一広、田坂聡明、ヒノキ人工林における林齢の空間分布が表層崩壊の発生位置に与える影響について、緑化工学会誌、査読有、37(1)、2011、102-107

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① 松英恵吾、航空機 LiDAR データによる森林資源管理システムを活用した森林モニタリング、第 125 回日本森林学会大会、2014 年 3 月 29 日、大宮ソニックシティ
- ② 松英恵吾、航空機 LiDAR 計測データによる森林資源管理システムの開発、第 124 回日本森林学会大会、2013 年 3 月 26 日、岩手大学
- ③ 松英恵吾、航空機 LiDAR 計測データの森林管理への応用について、第 123 回日本森林学会大会、2012 年 3 月 27 日、宇都宮大学

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