

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21580180

研究課題名（和文）

航空機LiDARによる林内下層植生量推定手法の開発

研究課題名（英文）

Estimation of forest understory vegetation using airborne-LiDAR

研究代表者

山本 一清 (YAMAMOTO KAZUKIYO)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：40262430

研究成果の概要（和文）：

本研究では、航空機LiDARを利用した林内下層植生被度の推定手法の開発を目的とした。筆者らが開発したALPP(Automated LiDAR-data Processing Procedure)システムを利用し、LiDARデータを林冠部及び林冠下部に分離し、それらから算出される新たな指標を提案した。実測の林内下層植生被度との比較により、航空機LiDARによる林内下層植生被度の推定の可能性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we aimed to develop a method to estimate forest understory vegetation coverage using airborne LiDAR. Using the ALPP(Automated LiDAR-data Processing Procedure) system previously developed, we separated the LiDAR data into canopy and below canopy class and presented the now indexes based on these separated data. From the comparison between estimated and observed forest understory vegetation coverage, we suggested the possibility to estimate the forest understory vegetation coverage using airborne LiDAR.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 1,500,000 | 450,000 | 1,950,000 |
| 2010年度 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |
| 2011年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 総計 | 3,700,000 | 1,110,000 | 4,810,000 |

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：航空機LiDAR・下層植生被度・林内光環境・レーザー透過率・パルス波形

1. 研究開始当初の背景

林内の照度の増加とともに林床植生が増加することは、様々な樹種の森林で報告されてきた。間伐は林内照度を調節する作業であるから、間伐率が高くなるほど林内照度が高くなり、林床植生の繁茂量も増加する。これまでの研究により、下層植生の水土保持機能や種多様性等の公益的機能への寄与については多くの研究例があり、間伐による下層植

生の増大は、これら公益的機能の増進に有効であることが示されてきた。そのため、近年間伐にともなう林分構造（立木密度・収量比数等）の変化と林内光環境および下層植生量の関係を明らかにする研究が数多く行われるとともに、その具体的な施策の推進のため、森林環境税導入等の動きが各地で進められている。

しかし、これまで日本において蓄積されて

きた育林技術は、主として木材生産に主眼をおいたものであり、森林環境税等を財源として行われている各種間伐事業（強度間伐）は、これとは全く異なる林分構造を志向するものである。そのため、その効果が十分に得られるかどうか、また現状で行われている各種間伐事業の有効性については疑問が残る。実際に、申請者らが三重県内で行われた保安林改良・保育事業において間伐が実施されたスギ・ヒノキ林分において林内相対照度を調査した結果では、下層植生の生育に必要な林内相対照度 10～20%以上を下回る林分がほとんどであり、多くの林分において十分な下層植生の十分な生育は確認できなかった。

このように、十分な技術的蓄積がない各種間伐事業については、今後その有効性及び経過について十分な検討が必要であると考えられる。しかし、急速に実施が拡大するであろう間伐事業の評価のためには、実施対象林分の広域的な林分構造の把握及び下層の状況の迅速な把握が必要となるが、それを定常的な森林調査データに依存することは極めて困難であると考えられる。特に、下層植生の生育状況に関しては、広域的な林分構造の把握に近年急速に実用されつつある衛星画像解析においても、日本の人工林に代表されるような閉鎖またはそれに近い林冠下での把握は困難であり、新たな手法の開発が急務であると考えられた。

2. 研究の目的

本申請では、従来の森林調査にかわる迅速かつ高精度の新たな森林資源計測システムとして申請者らが提案してきた「航空機 LiDAR 観測データの Top Surface 解析手法」を応用し、林内下層植生の面的な生育状況を広域的かつ迅速に把握する手法の開発及びその検証を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、主として以下の3つの研究を実施した。

①吊り下げ法による下層植生被度測定手法の確立

名古屋大学構内の人工林、三重県林業研究所内の試験林、及び三重県大台町総門地域の人工林を対象とした。

本研究で提案した手法は、高い位置から2台のカメラでステレオ撮影できるように、プラスチックケースに2台のカメラを取り付け、竿の先から吊るして林床を真上から撮影し、得られた画像から、下層植生被度を推定する手法である（図1）。

ここで得られた2枚の画像から、写真測量により地上に設置した5m×5mのプロット四隅の座標を推定し、これをGCP（ground control points）として、幾何補正によりプ

ロットのオルソ画像を作成した（図2）。さらに、教師付き分類手法を利用して、オルソ画像内の植生と非植生部分の分類画像を作成し、植生部分の割合を算出し、下層植生被度とした。本研究では、計27点のプロットを対象に、この手法の推定精度について検討した。

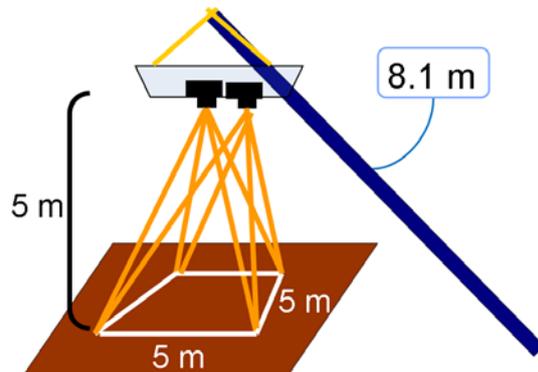


図1. 吊り下げ法による下層植生被度測定方法の概念図

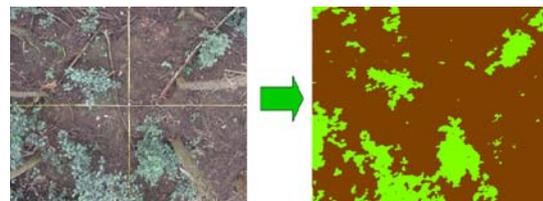


図2. オルソ画像と分類画像

②林内光環境と下層植生被度の広域比較

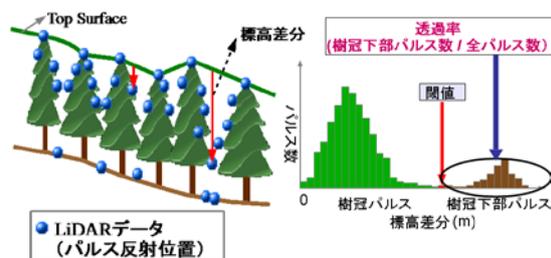


図3. TopSurface 解析手法によるレーザー透過率推定

愛知県豊田市稲武町内の名古屋大学大学院生命農学研究科フィールド教育支援センター稲武フィールド内のスギ・ヒノキ・カラマツ林を対象に、航空機 LiDAR 観測データから TopSurface 解析手法（図3）により林内光環境の指標であるレーザー透過率の広域的マップを作成し、地上に設置したプロットの下層植生被度との関係性を比較検討した。

③波形記録式航空機 LiDAR による下層植生被度の広域推定手法の開発

三重県多気郡大台町の総門地区内のスギ・ヒノキ人工林を対象とし、対象林分内に51点の観測点を設置するとともに、GPSによ

り中心位置の地理座標を測定し、観測点周囲の下層植生タイプを記録するとともに、下層植生被度(%)を吊り下げ法により測定した。一方、対象地域の波形記録式航空機LiDAR(SAKURA)による観測を実施した。

まず、観測データをパルス化したデータ(SDWファイル)とパルス化前の波形データ(SDFファイル)及びヘリのGPSデータ(POSファイル)を統合した。次に、観測点を中心とする直径10mの仮想円形プロットを設定し、プロット内のパルス化データを利用し、Top Surface解析手法(図3)により林冠パルスと林冠下部パルスに分離し、GPSデータから各林冠下部パルス反射位置までの距離(L)を算出して、その平均距離(Lavg)を求めた。さらに、各林冠下部パルスに対応するパルス波形を波形データから抽出し、パルス波形最大反射強度(Pmax)及び波形積算反射強度(Sw)を算出した(図4)。なお、各パルスの反射強度は、(Lavg/L)²を乗じて基準化した値を用いた。

最後に、林冠下部パルスについて、Top Surface解析時に推定した樹木位置座標から樹木周辺のパルスを除去後、図5に示した各指標を算出し、下層植生被度(%)との関係を各指標との回帰分析、及び全指標との重回帰分析(変数選択法)により検討した。

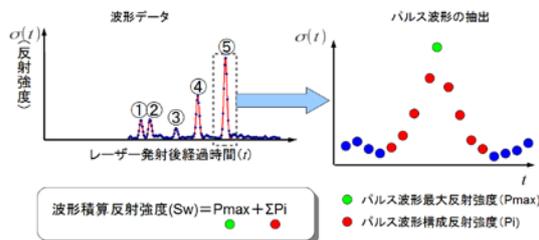


図4. 波形データ(SDWファイル)の処理

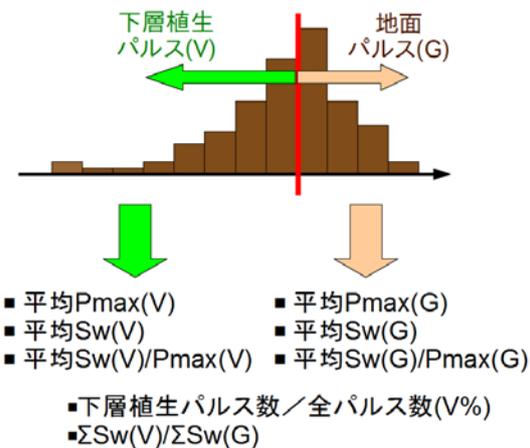


図5. 各指標の算出

4. 研究成果

①吊り下げ法による下層植生被度測定手法の確立

図6に示したように、吊り下げ法による下層植生被度の推定値(UVCe:%)は実測値

(UVCo:%)と高い相関関係にあり($P < 0.05$)、その推定誤差は約8%程度であった。このように、本研究で提案した吊り下げ法は下層植生被度推定に有効な手法であることが明らかとなった。

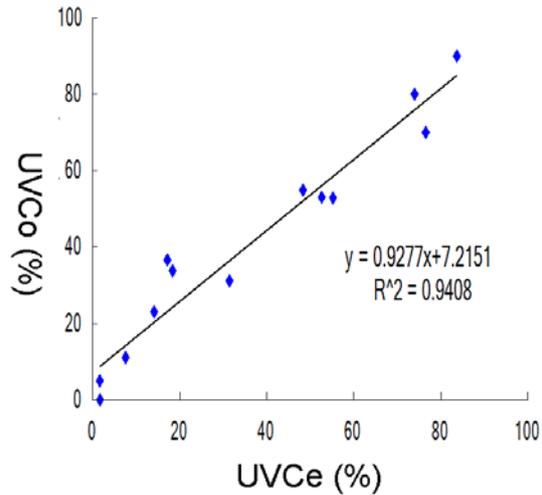


図6. 吊り下げ法による下層植生被度推定値(UVCe:%)と実測値(UVCo:%)の関係

②林内光環境と下層植生被度の広域比較

図7に示したように、レーザー透過率(%)と下層植生被度(%)の間には有意な相関関係($P < 0.05$)が認められたが、個々の樹種においては両者の間に有意な関係性は認められなかった($P > 0.05$)。

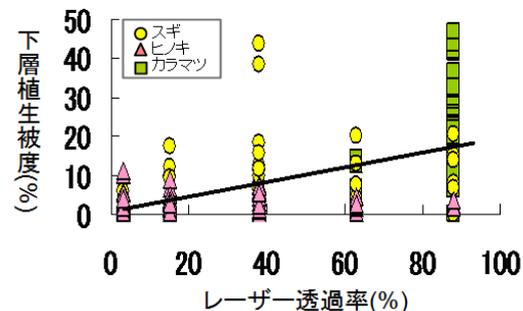


図7. レーザー透過率と下層植生被度の関係

③波形記録式航空機LiDARによる下層植生被度の広域推定手法の開発

表1. 各指標と下層植生被度の関係

| 指標 | 切片 | 傾き | R ² |
|--------------------|---------|--------|----------------|
| 平均Sw(V)/Pmax(V) | -202.47 | 50.85 | 0.15(P<0.01) |
| 平均Sw(G)/Pmax(G) | -457.81 | 104.85 | 0.32(P<0.01) |
| 下層植生パルス数/全パルス数(V%) | 27.76 | 41.4 | 0.06(P<0.05) |
| ΣSw(V)/ΣSw(G) | 36.9 | 8.16 | 0.06(P<0.05) |

単解析の結果、下層植生被度と有意な関係性が認められたのは、平均 Sw(V)/Pmax(V)、平均 Sw(G)/Pmax(G)、下層植生パルス数/全パルス数(V%)、ΣSw(V)/ΣSw(G)であった(表1)。さらに、全指標との重回帰分析(変数選択法)により得られた関係は以下のとおりであった(図8)。

下層植生被度 (%) = $-728.90 + 0.73 \times \text{平均 Pmax}(V) - 0.01 \times \text{平均 Sw}(V) - 0.14 \times \text{平均 Sw}(G) + 22.07 \times \text{平均 Sw}(V) / \text{平均 Pmax}(V) + 136.9 \times \text{平均}$

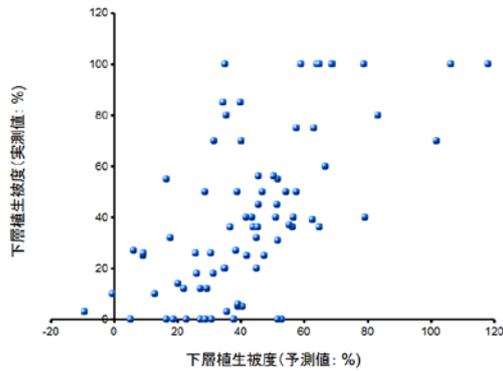


図8. 重回帰分析による推定値と実測値の関係

$\text{Sw}(G) / \text{Pmax}(G) + 9.34 \times \Sigma \text{Sw}(V) / \Sigma \text{Sw}(G)$
($R^2=0.42$, $P<0.01$)

このように、下層植生被度の推定に関しては、パルスの反射強度を基準化したことにより、幾つかの指標で下層植生被度と有意な関係性が認められた。現状では、重回帰分析の結果も含め、十分な推定精度が得られておらず、今後さらに処理方法の改良及び新たな指標の検討が必要であると考えられるが、今回の結果は従来可能性すら検討されておこなかった下層植生被度の広域推定についての可能性を示した重要な成果であると考えられる。

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 2 件)

① Kazukiyo Yamamoto, Tomoaki Takahashi, Yousuke Miyachi, Naoto Kondo, Shinichi Morita, Motohiko Nakao, Takashi Shibayama, Yoshiyuki Takaichi, Masashi Tsuzuku and Naoaki Murate (2011) Estimation of mean tree height using small-footprint airborne LiDAR without a digital terrain model. Journal of Forest Research 16:425-431. (DOI 10.1007/s10310-010-0234-5) (査読有)

② 村瀬康久・山本一清・竹中千里・野々田稔郎・弓場憲生 (2011) 人工林における間伐後の下層植生の生育環境の解析 (I) - 下層植生の面的把握手法の確立 - 中部森林研究 59:107-108. (査読有)

[学会発表] (計 13 件)

① 山本一清・近藤直人・山下 悟・千田良道・都竹正志 航空機 LiDAR によるヒノキ人工林の質的特性把握 (IV) - LAI および林内光環境推定に最適な空間スケールと推定限界についての検討 - 2011 年 3 月 27 日 静岡大学

② Kazukiyo Yamamoto, Naoto Kondo, Yoshiyuki Takaichi, Masashi Tsuzuku and Naoaki Murate Estimation of LAI and related metrics using small-footprint airborne LiDAR without a digital terrain mode. The Second International Conference on FORCOM: Followup and New Challenge for Coming Generations 2011 年 9 月 26 日 Mie University

③ Murase Yasuhisa, Yamamoto Kazukiyo, Takenaka Chisato and Nonoda, Toshiro and Yuba Norio Development of method of understory vegetation coverage using two digital cameras. The Second International Conference on FORCOM: Followup and New Challenge for Coming Generations 2011 年 9 月 26 日 Mie University

④ 鍋倉賢二・村瀬康久・山本一清 3Dカメラによる樹幹形計測手法の開発第1回中部森林学会大会 2011 年 10 月 22 日 石川県地場産業振興センター (石川県)

⑤ Murase Yasuhisa, Yamamoto Kazukiyo, Takenaka Chisato and Nonoda, Toshiro The effects of deer enclosures to understory vegetation recovery in a thinned hinoki plantation. Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress 2012 年 3 月 18 日 Ryukoku University

⑥ 鍋倉賢二・村瀬康久・山本一清 3Dカメラによる樹冠直径計測精度の検証 第123回日本森林学会大会 2012 年 3 月 28 日 宇都宮大学

⑦ 森下絵理子・山本一清・島田政信・栗屋善雄 PALSAR によるヒノキ人工林の森林情報把握可能性 - 地形補正効果の検討 - 第123回日本森林学会大会 2012 年 3 月 28 日 宇都宮大学

⑧ 西本雄亮・山本一清・千田良道・山下 悟・都竹正志 波形記録式航空機 LiDAR による林床状態の推定方法開発 (II) - 樹種間比較を中心として - 第123回日本森林学会大会 2012 年 3 月 28 日 宇都宮大学

⑨ 山本一清・村瀬康久・西本雄亮・千田良道・都竹正志 波形記録式航空機 LiDAR による林床状態の推定可能性の検討 (III) - 林床状態とレーザー反射特性の関係比較 - 第123回日本森林学会大会 2012 年 3 月 28 日 宇都宮大学

⑩ 萩原晟也・村瀬泰久・山本一清・山下悟・千田良道・都竹正志 波形記録式 LiDAR の反射パルス分析による森林の質的構造の把握 - 樹種分類への適用可能性の検討 - 第2回中部森林学会大会 2012 年 10 月 20 日 信州大学

⑪ 梅藤幸太郎・村瀬泰久・山本一清 航空機 LiDAR による樹冠形変動の把握 第2回中

部森林学会大会 2012年10月20日 信州大学

⑫村瀬康久・山本一清・竹中千里・片桐奈々・野々田稔郎 間伐したヒノキ人工林における下層植生の回復に対する防鹿柵の効果 (II)―間伐から2年間の経過― 第124回日本森林学会大会 2013年3月26日 岩手大学

⑬山本一清・村瀬康久・千田良道・都竹正志 波形記録式航空機 LiDAR による林床状態の推定可能性の検討 (IV)―林冠下部反射パルスの波形解析方法の検討― 第124回日本森林学会大会 2013年3月26日 岩手大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本一清 (YAMAMOTO KAZUKIYO)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号: 40262430

(2) 研究分担者 なし

()

研究者番号:

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号: