

写真測量を用いたボクセルモデルによる 葉面積指数 LAI の推定

1250054 川村 唯華

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

森林の多面的機能を十分に発揮するためには適切な管理が必要であるが、近年未管理の人工林の増加が懸念される。森林機能の発揮状況を広く把握するには、林業や農業分野で管理するための指標である葉面積指数 (LAI) の正確な推定が重要視されている。しかし従来の推定手法には課題があることから、本研究では新たな LAI 推定アルゴリズムとしてボクセルモデルの適用可能性を検討した。観測対象はヌルデ単木を選定し、観測手法としては UAV を用いた写真測量とすることで空間分解能の向上を図った。その結果、相対的な LAI の推定が可能であることが確認された。しかし推定においてボクセルサイズや葉面積補正係数といったパラメータを設定したため、異なる観測対象にも適用可能かどうか今後検証する必要がある。

Key Words : 葉面積指数(LAI), ボクセルモデル, 写真測量, 三次元点群データ

1. はじめに

適切な管理を受けた森林は、樹木と下層植生が健全に生育するため、地球環境保全機能、土砂災害防止機能、水源涵養機能など森林本来が持つ多面的機能を十分に発揮する[1]。しかし近年では山主の後継者不足や林業従事者の高齢化により、放置林が増加しているため、森林機能が発揮されていない[2]。この森林機能の評価においては、二酸化炭素の吸収や蒸発散、日光や降雨の遮断などを行う葉に注目し、着葉期間長さや葉量が重要な因子とされている[3]。一般的に葉量の定量化には葉面積指数 (Leaf Area Index, 以下 LAI とする) が使用される。LAI とは単位土地面積あたりの片側葉面積の総和であり、推定手法として直接的手法と間接的手法に大別される。直接的手法は、葉を刈り取り、実際に測定する手法であり、間接的手法は、葉による光の減衰特性を光学機器により計測する手法である。他にも、近年は衛星データを用いた放射伝達モデルを用いた LAI 推定手法もある[4]。それぞれの問題点を要約すると、直接的手法は破壊的なため変化を追跡できないこと、間接的手法は枝幹を含んだ植物面積指数となること、衛星データによる推定手法では、空間分解能が低いことが指摘されている[5]。そこで本研究は、写真測量により点群データを取得し、三次元空間を構成する

最小単位の立方体であるボクセルを、点群データを分類・解析するデータ構造として適用することで、非破壊で幹枝の分類可能な LAI 推定を目的とした。また、写真測量には、衛星よりも高い空間分解能で観測が可能な UAV を使用した。観測対象はヌルデ単木とした。(図 1, 図 2)

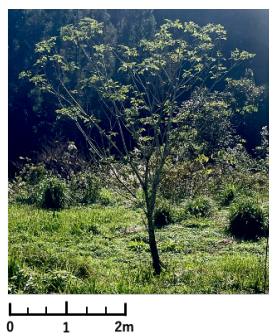


図 1 LAI 推定対象としたヌルデ

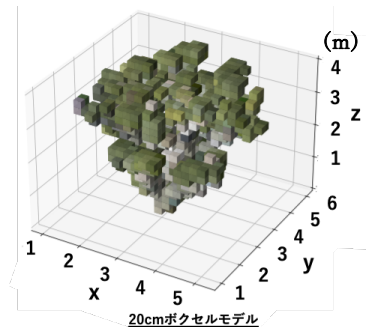


図 2 ヌルデの 20cm ボクセルモデル

2. 直接的手法による葉面積計測

2.1 直接刈り取り法

推定葉面積の精度検証のため、11月20日に直接刈り取り法を実施し、スキャナを用いた画像計測による実測葉面積算出を行った。ヌルデは複葉であるため、小葉単位で刈り取らないように注意した。刈り取り後の葉は、新聞紙で挟み圧搾乾燥による標本化を行った(図3)。



葉の刈り取り風景

葉の圧搾乾燥の途中経過

図3 葉の刈り取り風景と標本化

2.2 スキャン画像を用いた葉面積の算出

葉の乾燥後、スキャナーを使用し、画像にした。図4左図は、使用機材の Fujitsu 社 Scan Snap sv600 である。スキャン時は、葉を A3 用紙(296mm×420mm)の上に重ならないように配置した。図4右図は、スキャン画像のサンプルである。



使用スキャナー
Fujitsu Scan Snap sv600

スキャン画像

図4 使用スキャナー(左図)とスキャン画像(右図)

スキャン画像から葉面積を算出するために、画像の 1pix サイズを式(1)から求めた。

$$1 \text{ pixサイズ} = \left(\frac{296\text{mm}}{r}, \frac{420\text{mm}}{c} \right) \quad (1)$$

r = 画像の短辺画素数 c = 画像の長辺画素数

次に画像から葉面積を算出するために、背景と葉の影のピクセルを抜き取った。背景と影の RGB 値が (250, 250, 250) 以上であったため、その値を閾値として抜き取った。残った葉の画素数と 1pix サイズの積を実測葉面積とした結果、3.32 m²となった。

3. 葉点群分類手法

3.1 点群データ作成とボクセルモデル化

ヌルデの点群データ化のために、写真測量を行った。図5は、今回写真測量に使用した DJI 社のカメラ搭載用 UAV である MATRICE 300 RTK と、写真測量カメラの ZENMUSE P1 である(図5)。観測時は、観測高度を 11m、カメラ視野角を 60° に設定し、ヌルデを中心に UAV が周回する軌道で観測を実施した。



カメラ搭載用UAV
MATRICE 300 RTK

写真測量カメラ
ZENMUSE P1

図5 使用機材

UAV により空撮された複数枚の写真から、SfM 技術を用いてヌルデの点群データを作成した(図6)。



図6 点群データ化されたヌルデ

ボクセルモデルを用いて葉面積を推定するためには、葉点群のみのボクセルを適切に作成する必要がある。枝幹点群を含むボクセルを取り除く必要がある。そこで、ボクセル内の点群形状を基に、葉ボクセルと枝幹のボクセルの分類を行った。今回、点群形状を確認するためのボクセルサイズとして、ヌルデの最大小葉葉身である 12cm を採用した。また、ボクセル内の点群密度の違いはボクセル内の点群形状に大きく影響を与えるため、事前に点群データを 2cm 分解能でボクセル化することで均質化した。その際にボクセル内点群の代表座標をボクセル中心座標とした。

3.2 ボクセル毎の法線ベクトル z 成分の評価

法線ベクトルとは、平面や曲面に対して垂直なベクトルであり、面の形状に応じてその向きが変化する。葉は光を効率的に吸収するため、平面形状であり、ほとんどの葉が日光を吸収するため斜め上方向を向いて生育する。したがって、葉の法線ベクトルは一様に z 軸方向を向くと考えられる。一方で、枝幹は円柱状であるため、その法線ベクトルの向きは z 平面上に散在する。そこで本研究では、ボクセル毎の法線ベクトルを算出し、その z 成分により分類を行った。ボクセル毎の法線ベクトルは、ボクセル内点群の法線ベクトルの平均値として定義した。点群の法線ベクトルは、ボクセル内から 3 点の均質化された点群データを nC_3 で選び、式(2)に代入することで算出する(図 7)。

$$ax + by + cz = 1 \quad -(2)$$

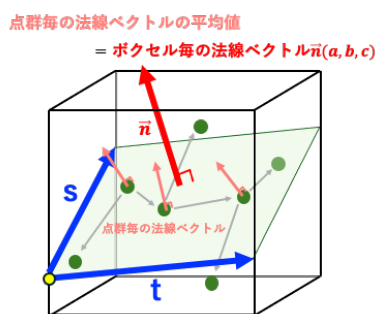


図 7 ボクセル点群が作り出す法線ベクトル $\vec{n}$ と st 座標系

図 8 はヌルデのボクセル毎の法線ベクトル z 成分で色分けされた点群であり、太い枝と幹は葉と異なる傾向が見られる。

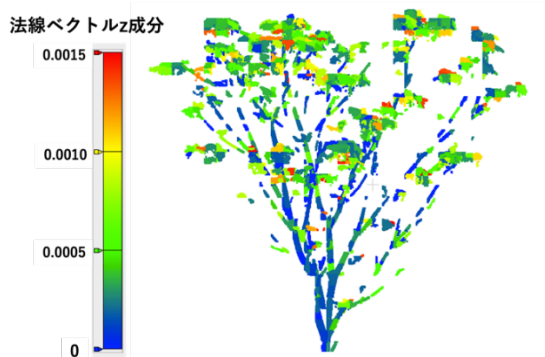


図 8 法線ベクトル z 成分による点群の色分け

3.3 点群の空間分布評価

葉と枝幹の形状から、葉点群は空間平面に散らばる点群分布を示すのに対し、枝幹点群は直線上に分布することが考えられる。ゆえに、その空間分布評価として、ボクセル毎の法線ベクトルから生成される空間平面を基に座標軸(以下 st 軸とする)を設定し(図 7)、その座標系における均質化された点群の相関を分析した。図 9 はある葉と枝の st 座標系での点群分布であり、これらにより相関の違いを確認できる。また、図 10 はヌルデのボクセル毎の st の相関係数で色分けされた点群であり、葉と細い枝で異なる傾向が見られる。

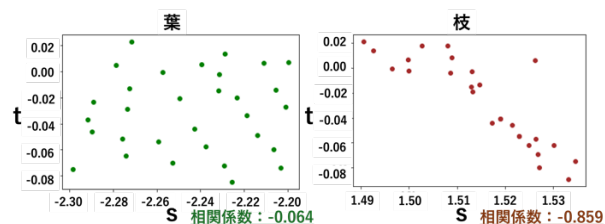


図 9 葉と枝の st 座標系での点群分布と相関係数

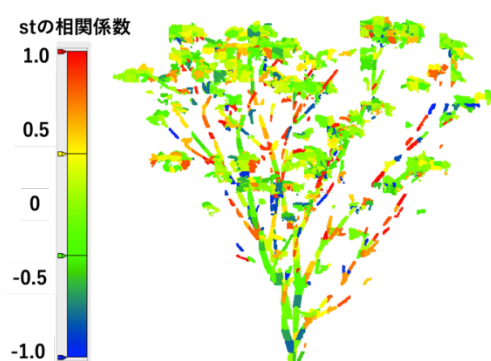


図 10 st の相関係数による点群の色分け

3.4 葉点群の抽出

ボクセル毎の法線ベクトル z 成分と st の相関係数を点群分類の閾値として設定するために、点群処理ソフトウェアである Cloud Compare を使用し、葉と枝幹の点群を切り取り、それぞれのヒストグラムを作成した。すると、枝の約 4 割が葉とは異なるヒストグラム分布を示していたため、その境界値を閾値として設定をした。閾値を式(3)に示す。

$$0.0002 \leq c, \quad -0.7 \leq r \leq 0.7 \quad -(3)$$

c : 法線ベクトル z 成分 r : st の相関係数

点群を解析するボクセルの原点位置により、点群形状が変化するため、一度閾値処理を行った後に、もう

一度 xy 方向に半ボクセル分の 6cm だけボクセル位置を移動させ、その影響を低減させた。図 11 は二度の閾値処理後のヌルデ点群である。



図 11 閾値抽出されたヌルデ点群

この点群が作り出す 12cm ボクセルは 1162 個、Cloud Compare で目視抽出した葉点群が作り出すボクセルが 1372 個となり差が生じた。この差は、斜めに面をもつ葉が枝幹と同じ傾向を示し、法線ベクトルの閾値処理において、排除されたからだと考えられる。

4. ボクセルモデルを用いた推定葉面積

本研究では、ボクセルモデルの底面積とボクセル数の積を、ボクセルモデルによる推定葉面積とした。ボクセルサイズは、葉ボクセル抽出時と同じく 12cm とした。そうしたとき、ボクセルモデルの底面積は 0.0144 m²と固定値となるため、推定葉面積はボクセル数として換算できる。今回は、閾値抽出されたボクセル数 1162 個と Cloud Compare において目視抽出されたボクセル数 1372 個の平均値から算出される葉面積を、ボクセルモデルによる推定葉面積とした。

その結果、推定葉面積は 18.2 m²となり、実測葉面積である 3.32 m²よりも過大評価されてしまうものとなった。そのため、補正係数を式(4)より算出し、LAI 推定時に使用した。

$$\text{補正係数} = \frac{\text{実測葉面積(m}^2\text{)}}{\text{ボクセルモデルによる推定葉面積(m}^2\text{)}} \quad (4)$$

5. LAI の推定

今回は、補正後葉面積を用いて 60cm×60cm のグリッド毎の LAI を算出した。抽出された葉点群を含む 12cm ボクセルを、60cm×60cm のグリッドで分割し、分割グリッド面積に占めるグリッド内の補正後葉面積の総和を算出し、これを高さ方向に積算することでグリッド毎の LAI を求めた。

その結果、南面の葉群落における LAI が最も高く、周辺に向かうにつれて低下する傾向が見られた(図 12)。したがって、ボクセルモデルを用いることで、相対的な LAI 分布の推定が可能であると示された。

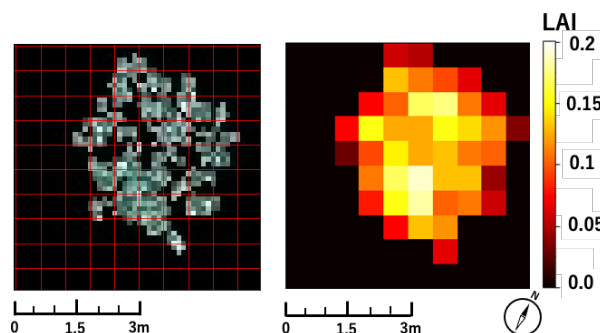


図 12 葉ボクセルのオルソ画像と LAI ヒートマップ

6. おわりに

本研究では、UAV を用いた写真測量により点群データを取得し、新たな LAI 推定アルゴリズムとしてボクセルモデルの適用可能性をヌルデ単木において検討した。結果、相対的な LAI の推定が可能であることがわかった。しかし、ボクセルサイズや葉点群抽出の閾値設定、葉面積算出時の補正係数は、対象としたヌルデ単木に基づいた設定である。そのため、異なる樹木や樹種であっても本設定が適用可能かどうか、さらなる検証が必要である。また、森林を対象として LAI を推定する場合、上層以外の葉の観測が困難になるため、本手法の適応ケースについても検討が求められる。

参考文献

- [1] 林野庁 森林の整備・保全
- [2] 林野庁 我が国の森林の状況と多面的機能
- [3] 栗林正俊, 田中健太, 渡邊理英, 小熊宏之, 長野県北部のカラマツ林における葉面積指数の推定, 2023 年
- [4] 石井孝, 梨本真, 下垣久, 電力中央研究所, 衛星データによる葉面積指数 LAI の推定, 1999 年
- [5] 長谷川宏一, 尾身洋, 比留間佑太, 熊谷聡, 山本遼介, 泉岳樹, 松山洋, 複数の手法によるスギの葉面積指数の推定-熊本県阿蘇地方を事例に-, 2012 年