

航空機計測を用いた 市街地における緑視率の推定

小宮 佑登¹・須崎 純一²

¹正会員 株式会社リオス (〒 702-0927 岡山県岡山市中区藤崎 564-5)

E-mail: yuto.k_music1545@yahoo.co.jp

²正会員 京都大学准教授 大学院工学研究科 (〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1-206)

E-mail: susaki.junichi.3r@kyoto-u.ac.jp

2004年に景観法が施行されて以降、自治体の景観に対する関心が高まりつつある。景観の情報を得る際、航空機 LiDAR や航空写真といった航空機計測を利用すると、広範囲の詳細な情報を高速かつ簡便に取得することが出来る。本研究では、航空機計測を用いて属性を持った3次元の情報を取得し、地物の3次元モデルを生成することなく道路上からの緑視率を推定する手法を提案する。緑視率とは注目点の周囲の視界に植生が占める割合を表す指標であり、視界内に設定した視線の遮断割合から定義した。京都市伏見区の対象地域における推定精度は約4%のRMSEであり、航空機計測から地上での緑視率を良好な精度で推定可能であると判明した。

Key Words: airborne LiDAR, aerial photograph, DSM, visible green index

1. 序論

(1) はじめに

2004年に日本初の景観に関する総合的な法律である景観法が施行され、各自治体が定めていた景観条例に法的な拘束力を持たせることが出来るようになった。景観法が施行されて以降、多くの自治体が景観行政を司る景観行政団体となるなど、自治体の景観に対する関心が高まりつつある。例えば、兵庫県西宮市では2009年に景観計画を策定した。西宮市の景観計画では、新しく建設される建物に対して、道路から見た場合に視界へ入る緑量を、独自の指標である間口緑視率を用いて定めている。緑視率とは視野に対する樹木や草といった緑の割合であり、景観保全の観点から近年注目を集めている指標の一つである。西宮市以外の都市でも例えば京都府京都市では、「第一次京のみどり推進プラン」が2010年に策定され、この計画の中において、5年後の緑視率の目標が定められている。西宮市の緑視率は道路から見た場合に視界へ入る緑量で定めているのに対し、京都市の緑視率は、方位角360度、仰角-19度から19度までの領域内において緑が占める割合を緑視率として定めており、緑視率の計算方法の定義は自治体によって異なっている。

上述の緑視率を含め街路からの景観を定量的に把握するには、視点場から見た建物や植生等の地物の3次元分布を把握する必要がある。景観の情報を得るためには、現地で写真を撮る等の地上計測がよく行われる。

限られた点数の視点場において景観情報を得る場合には対応できるが、自治体等の広範囲における街路上全ての場所で地上計測を行うのは困難であり、広域に対応できる効果的な景観情報の推定方法が求められている。

航空機を用いた計測は、広範囲の詳細な情報を、地上計測に比べ高速に取得することが出来る。航空機を用いた計測には、航空機搭載型 LiDAR (Light Detection and Ranging) 計測や航空写真による観測等がある。

航空機 LiDAR では計測点の属性を観測することは出来ないが、建物を含めた表面形状の3次元座標を簡便に得ることが出来る。小宮らの研究¹⁾では、航空機 LiDAR から得られた DSM (Digital Surface Model) データを用いて、市街地における圍繞度の推定を行っている。圍繞度とは、ある視点場における周囲360度の方位角に対し、建物を中心とした全ての地物が占める割合を表した指標である。地物の3次元モデルが既に存在する場合には圍繞度の計算は容易であるが、当該研究では地物の3次元モデルを生成することなく航空機 LiDAR データから直接圍繞度を計算する点に有用性がある。具体的な計算方法においては、まず視界に仰角(-90~90度)・方位角(-180~180度)の範囲において、一定間隔で視線を設定し、予め定めた範囲において視線が遮断されるか計算する。最終的に全ての視線において同様の計算を繰り返し、最終的に圍繞度[%] = 遮断された本数 / 全視線数 × 100 で圍繞度を決定している。

さらに、航空写真では2次元の情報とRGB情報からその地点の属性を得ることが出来る。つまり、航空機

LiDAR と航空写真を組み合わせることで、属性を持つ 3 次元の情報が得られ、その情報を用いることで、任意の点の周囲にある地物や植生の様子を推定することが可能である。本研究は、圍繞度を推定する手法を發展させ、航空機 LiDAR と航空写真から緑視率を推定することを試みた。

(2) 既存の研究

本研究は市街地における道路上からの街路景観を、航空機計測を用いることで推定した。街路景観についての既存の研究としては、篠原・屋代の研究²⁾や亀野・八田の研究³⁾が挙げられる。篠原・屋代の研究では、建物の高さ (H) と道路の幅 (D) の比 (H/D) が囲まれ感・圧迫感を規定すると分析されている。さらに亀野・八田の研究から植栽の高さと道路幅の比である樹高幅員比についても、街路空間の雰囲気表現する指標として街路幅員建物高比とほぼ同様の値を示すことが判明している。

また、都市空間における圧迫感に着目し、圧迫感を計測する研究は武井・大原の研究⁴⁾等が存在する。これらの研究では圧迫感を、形態率という指標を用いて計測している。形態率とは航空写真における建物が占める面積の割合である。本研究では、緑量に着目して緑視率を定義した。緑視率を推定する際は、注目点からの見え方を 2 次元の画像で表し、武井らの研究と同様に、画像の面積比から指標の計算を行った。

山口ら⁵⁾の研究では、国土地理院が全国整備した 10 m メッシュの精度の標高データを用いて、地形による圍繞の程度を定量評価する手法が開発されている。圍繞の程度を評価する際は、地形による圍繞の程度や視覚的な閉鎖性を表す“圍繞角”や、地形によって圍繞された領域の規模を表す“圍繞距離”が指標として用いられている。本研究では対象地域が市街地であるため、広範囲の詳細な情報を取得できる航空機 LiDAR と航空写真を用いている。

2. 対象地域と使用データ

(1) 対象地域

緑視率推定の対象範囲として、京都市伏見区桃山地区の約 1 km² の範囲を対象とした。この地域には、団地など建物がそれぞれ独立して建っている領域や、住宅が密集して建物同士が近接している領域が存在する。さらに、樹木が密集する領域や、建物や樹木がなく開けた空間になっている領域も存在する。このため、様々な周辺状況の中で街路景観を評価することが出来る。また、対象地域である伏見地区周辺は、2002 年に読売新聞社主催の遊歩百選に選ばれている。

(2) 航空機 LiDAR と航空写真

LiDAR とはレーザによって対象の 3 次元座標点群を取得する計測機器である。非接触で高精度な大量の点データを取得することが可能であるため、広範囲の計測に適している。LiDAR には地上設置型、車両搭載型、航空機搭載型のものがあり、本研究では航空機搭載型 (航空機 LiDAR) のデータを使用した。

航空機 LiDAR を用いることによって、対象地域の地表面の 3 次元座標を取得することが出来る。このような建物や植栽の上面の高さデータを含んだ地表面データを DSM と呼ぶ。本研究で使用した伏見地区の DSM データを図-1 に、航空機 LiDAR の諸元を表-1 に示す。航空写真は航空機から撮影された画像であるが、本研究では建物などの歪みが補正されたオルソ画像を用いた。また、地上解像度は 15 cm であるが、航空機 LiDAR に合わせ地上解像度 1 m になるよう画像を縮小した。今回使用した伏見地区の航空写真を図-2 に、航空写真の諸元を表-2 に示す。航空機 LiDAR と航空写真で座標は完全には一致しないので、共通の座標を手動で設定した。

(3) 航空機 LiDAR データのフィルタリング

航空機 LiDAR から計測されたデータは DSM である。DSM をフィルタリングすることで DTM (Digital Terrain Model) を得ることが出来る。本研究では Susaki⁶⁾の手法を用いてフィルタリング処理を行った。以下、Susaki の手法の概要を記す。

建物等は一般的に地表面より高くなるので、DSM を一定領域に分割して、地表面と思われる各領域中の標高最低点を滑らかに補間すれば地表面の推定が出来る。大きな探索領域から始めて、地表面ではないと判定された点を除いていき、段階的に領域サイズを小さくする多段階の手法が開発された。しかしながら、領域内の標高最小値を探索する手法では、地下開口部などの凹地周辺の地表面推定が歪められるという脆弱性を持っている。処理の流れを以下に記す。

1. 航空機 LiDAR データをラスタ型データ (画像) に変換し、データが存在しない画素を連結し、一定面積以上の領域を河川として抽出する。
2. 局所最低点を抽出する。
3. 平面を推定し、RMSE (Root Mean Square Errors) が小さい場合に平面上にある点とし、計算に使用した全ての点群に平面の方程式を付与する。
4. 上記 3 の平面上の点のうち、局所最低値との標高差が小さく、傾斜が閾値以内である点を地表面データの初期値として選ぶ。
5. 地表面データの近隣の点を探索し、地表面データが持つ平面の方程式を使って平面までの距離を計

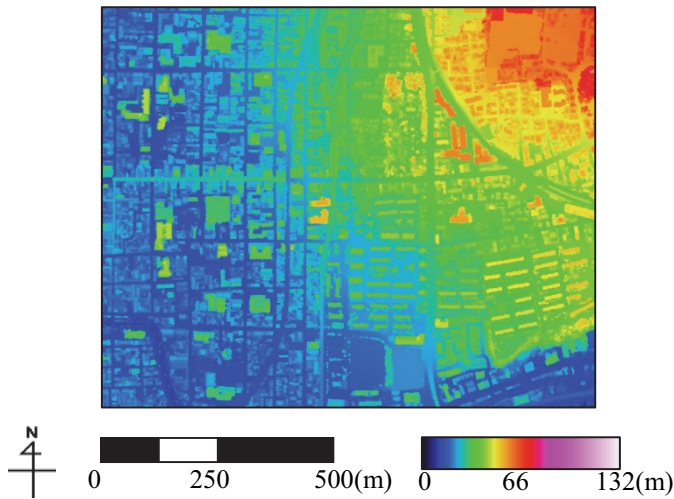


図-1 対象地域の DSM データ

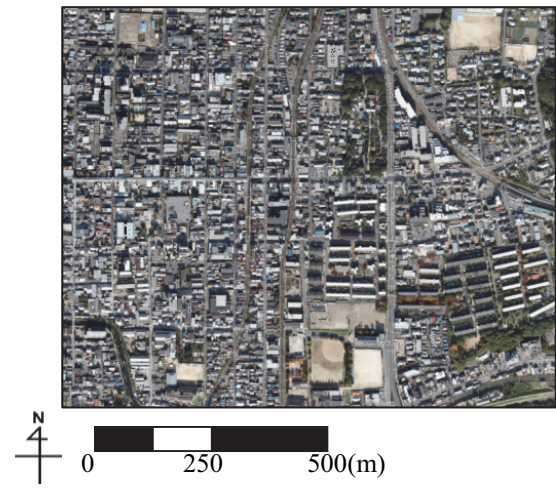


図-2 対象地域の航空写真

表-1 航空機 LiDAR の諸元

取得者	朝日航洋 (株)
取得日	2002 年 6 月～2003 年 2 月
公称取得点密度	1 m 四方に 1 点
実質取得点密度	1 m 四方に 1 点
フットプリントのサイズ	0.21 m
レーザの波長	1.064 μm

表-2 航空写真の諸元

取得者	ウエスコ (株)
撮影日	2007 年 11 月 17 日
地上解像度	15 cm

算し、その距離が閾値以下であれば、地表面データとして追加する。

- 地表面データとして追加される点が無くなった地表面データの抽出を終える。
- 地表面データが存在しない地点では、近隣の地表面データを探索し、内挿して地表面高さを推定する。この探索時に河川に遭遇すれば、その方向での探索は止めるものとする。
- この時点で推定された DTM から局所的な傾斜を計算する。傾斜が閾値以上の場合には、最大許容傾斜値を更新する。
- 手順 4 から繰り返し、最終的な DTM を得る。

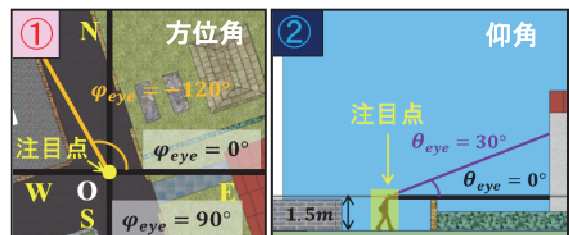
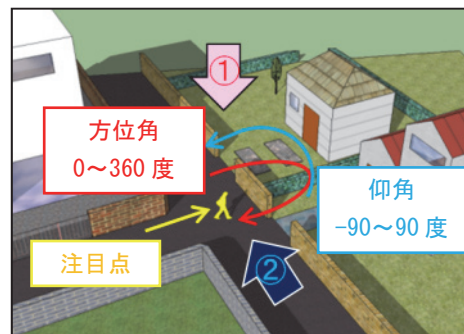
この手法で得られた DTM と DSM を比較し、DTM と DSM の差が 1.5 m 以上ある場合を非地盤面領域、1.5 m 以内の場合を地盤面領域と定めた。

3. 緑視率の推定

(1) 緑視率の定義と推定方法

緑視率の定義が自治体により異なっているため、まずは本研究における緑視率を、視界の中に設定した視線の遮断割合から定義した。

本研究における緑視率の定義は、圍繞度¹⁾と同じく視


図-3 φ_{eye} と θ_{eye} をパラメータとする視線の設定方法

野中に方位角・仰角一定角度ごとに設定した視線の遮断割合で表すこととした。

視線の設定方法について述べる。ある地点からの視線は、方位角 (0~360 度) と仰角 (-90~90 度) をパラメータとして設定した (図-3)。方位角 φ_{eye} とは視線を設定する際、東西南北でどの方向を向いているのかを表す。また、仰角とは視線の上下方向の角度である。仰角は真上を 90 度、真下を -90 度として、-90 度から 90 度までの範囲で設定した。ただし、仰角 ± 90 度の時、

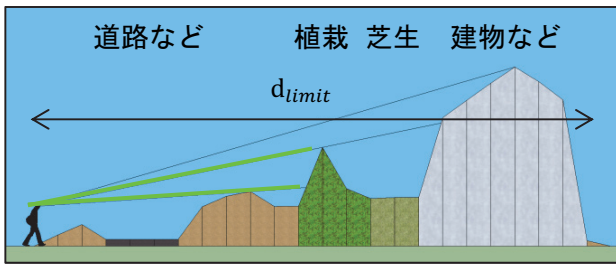


図-4 視線を遮断する地物の属性判断

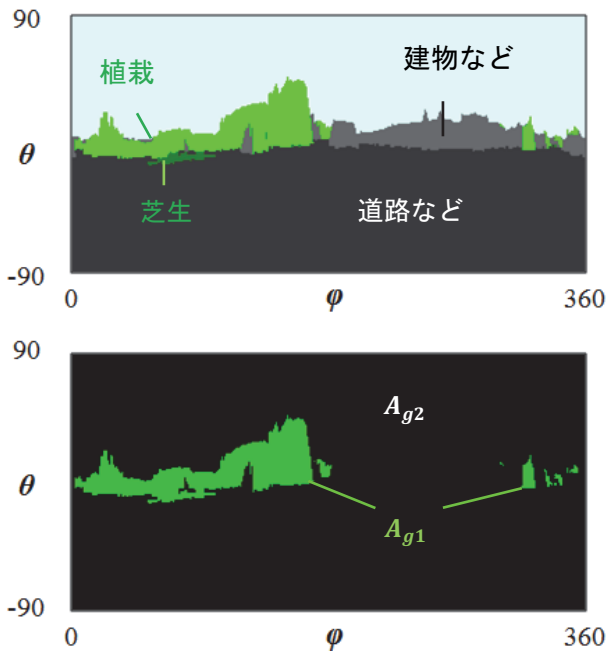


図-5 オクルージョンマップ（上：全ての地物を対象にしたオクルージョンマップ，下：植生のみを対象にしたオクルージョンマップ）

実際は方位角に関わらず視線が1本しかないが、他の角度と同様にすべての方位角について視線が存在すると仮定した。仰角・方位角の間隔は任意に設定することが出来る。今回は仰角・方位角ともに1度間隔で設定した。

注目点から視線を伸ばし、各視線が遮られるかどうかを調べた。xy平面上で注目点からの距離が一定の値 d_{limit} （市街地において視界に入る地物の大半は注目点の近くにあるため d_{limit} は100mと定めた。）以内である点を対象に遮断判定を行った。この遮断の判定方法についても囲繞度の推定¹⁾と同様である。ただし、緑視率を推定する場合は、視線を遮る地物が植生であるかどうかを航空写真と航空機LiDARから判断して記録した。植生であるかどうかの判断基準は次節で述べる。図-4のように、視線が遮られる場合、遮断している地物が、木や芝生などの植生であるかどうかを調べた。

縦軸が仰角、横軸が方位角となるような2次元平面を

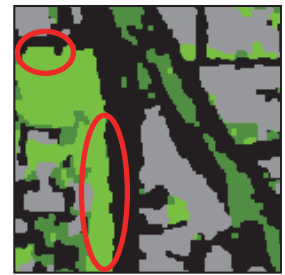
(a)



(b)



(c)



■ 植生/非地盤面 ■ 非植生/非地盤面
■ 植生/地盤面 ■ 非植生/地盤面

図-6 植生領域抽出の違い (a) 航空写真, (b) 航空写真のみを用いた場合, (c) 航空写真と航空機LiDARを併用した場合

設定し、視線を遮る地物によって色分けして記す(図-5)。本研究では図-5をオクルージョンマップと呼び、この図に基づき緑視率(GI)を次のように定義した。図-5の緑視率は6.5%であった。

緑視率 (Visible Green Index/GI) [%]

A_{g1} = 植生（植栽・芝生等）に遮られた領域

A_{g2} = その他の領域（空含む）

$$GI = \frac{A_{g1}}{A_{g1} + A_{g2}} \times 100$$

(2) 植生領域の抽出

緑視率の推定の際には、視線を遮る地物が植生であるのか非植生であるのかといった属性情報が必要になる。航空機LiDARのみで植生かどうかを判断するのは困難なため、航空機LiDARの他に航空写真を用いた。航空写真と航空機LiDARでは、座標が完全には一致しないため、航空写真の色情報のみで植生抽出を行うと、図-6(b)のように植生領域の境界がずれてしまう場合がある。

地盤面領域については、高さ情報から有益な情報を得ることが出来ず、非地盤面領域に比べ境界がずれることによる影響が小さいため、RGB情報のみで植生領域かどうか判断した。一方、非地盤面領域については、

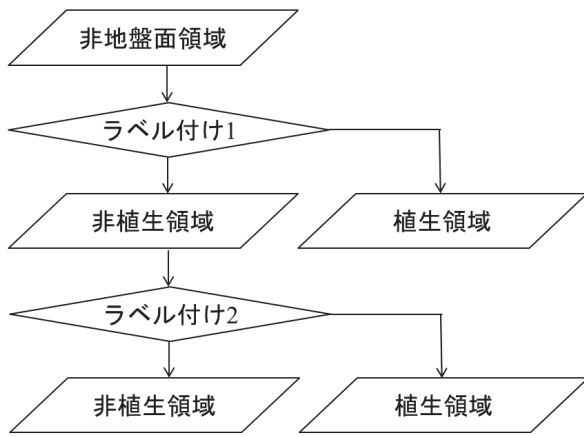


図-7 ラベル付けの流れ

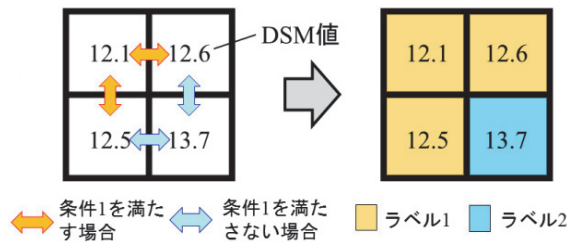


図-8 1回目のラベル付け処理

航空機 LiDAR データの高さ情報を用いて画素のグループを作成し、グループごとに航空写真の RGB 情報を用いて植生領域かどうかの判断を行った(図-7)。画素のグループは非地盤面領域を2段階に分けてラベル付けすることで得た。1回目のラベル付けでは条件を次のように決めた。

- ・条件1 高さの差 d_z が閾値 $d_{z_{max}}$ 以下である

1回目のラベル付けでは、隣接する画素が条件1を満たす時に同じラベルを付加した(図-8)。 $d_{z_{max}}$ は1mである。隣接している画素は注目画素の上下左右の4画素である。この処理によって、高さが急に変化する部分を分離することが出来た。

1回目のラベル付けを行った後、出来たグループについて植生領域かどうか判断した。

各グループで植生領域かどうかを判断する際は、グループ内における色の条件を満たす画素と満たさない画素の比率から判断した。あるグループにおいて色の条件を満たす画素の方が多い場合、その領域を植生領域であるとみなした(図-9)。色の条件は航空写真から明らかに植生である領域を抽出し、最も良く当てはまる値に定めた。色の条件を以下に記す。

$$H: 0 \leq H \leq 180 \quad \text{または} \quad 300 \leq H < 360$$

$$S: S \geq 32/255$$

$$V: V \leq 144/255$$

ただし H, S, V はそれぞれ HSV 表色系の色相 ($0 \leq H <$

(a) 植生領域とみなすグループ (b) 非植生領域とみなすグループ

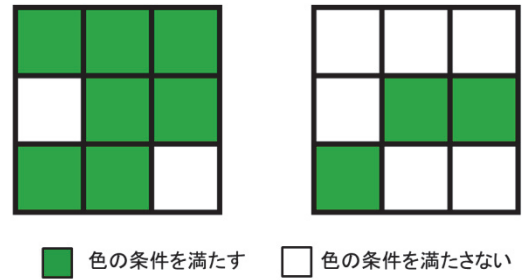


図-9 植生領域の判断

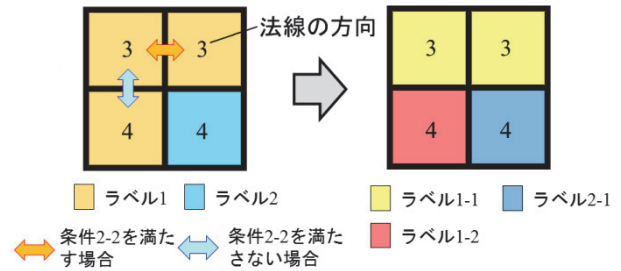


図-10 2回目のラベル付け処理

360)・明度 ($0 \leq S \leq 1$)・彩度 ($0 \leq V \leq 1$)を表す。以下に RGB から HSV に変換する式を示す。

R, G, B : 0~1

$$H = \begin{cases} 60 \times \frac{G - B}{R - \min(G, B)} + 0 & \text{if } \max(R, G, B) = R \\ 60 \times \frac{B - R}{G - \min(R, B)} + 120 & \text{if } \max(R, G, B) = G \\ 60 \times \frac{R - G}{B - \min(R, G)} + 240 & \text{if } \max(R, G, B) = B \end{cases}$$

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$$

$$V = \max(R, G, B)$$

この時、植生領域ではないと判断されたグループ内の画素に対して2回目のラベル付けを行った。2回目のラベル付けの条件を次のように設定した。

- ・条件 2-1 1回目のラベリング処理で同じラベルを付加されている
- ・条件 2-2 法線の水平成分を4方向に分類したとき同じ方向に分類される

2回目のラベル付けでは条件 2-1・2-2 の2つ条件を満たす時同じラベルを付加した(図-10)。図-10左においてラベル1, ラベル2というのは1回目のラベリング処理で付加されたラベルである。また、画素中に書かれている数字は法線の水平成分の方向を示している。2回目のラベル付けの前に、対象の画素について、周囲の画素から距離の2乗和が最小になるよう平面を求めた。さらに、求めた平面を法線の水平成分の方向で4通り(北向き・南向き・東向き・西向き)に分類した。この分

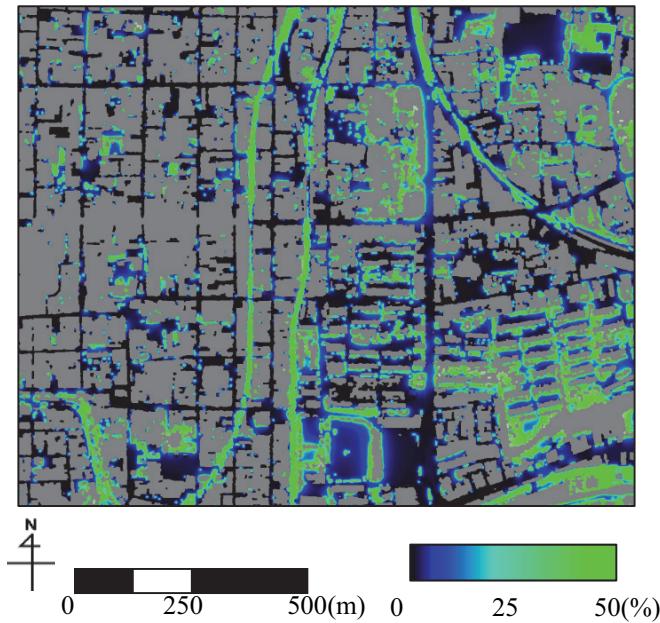


図-11 緑視率推定結果

類手法は幸良⁷⁾の研究で使われていた手法である。

図-10 左の左上画素と右上画素を比較すると、どちらもラベル 1 が付加されており条件 2-1 を満たす。さらに、法線の水平成分の方向がどちらも 3 と分類されており条件 2-2 を満たす。そのため左上画素と右上画素は 2 回目のラベリング処理でも同じグループ (ラベル 1-1) と判断される。一方、右下画素は他の 3 画素と 1 回目に付加されたラベルが異なる (条件 2-1 を満たさない) ため異なるグループ (ラベル 2-1) と判断される。左下画素は 1 回目に付加されたラベルは左上画素と同じ (条件 2-1 を満たす) だが、法線の水平成分の方向が異なっており (条件 2-2 を満たさない) 異なるグループ (ラベル 1-2) と判断される。

2 回目のラベリングが終わった後も、1 回目のラベリングと同様各グループが植生領域であるかどうか判断した。図-6 (b), (c) の画像を比較すると、境界部分や影部分が改善されていることがわかる。

4. 結果

(1) 緑視率推定結果と実測値

図-11 は対象地域で緑視率を推定した結果である。対象領域の緑視率を地上解像度 1m で得るのに所要した時間は約 80 分である。ただし、対象地域において地盤面上と判断された箇所でのみ緑視率を推定している。また、ある地点の緑視率を判定した結果を図-12 に示す。この地点の緑視率は 7.1% と推定された。

推定結果の妥当性を判断するため、緑視率の実測値を SIGMA4.5mm F2.8 EX DC を用いて計測した。このレ

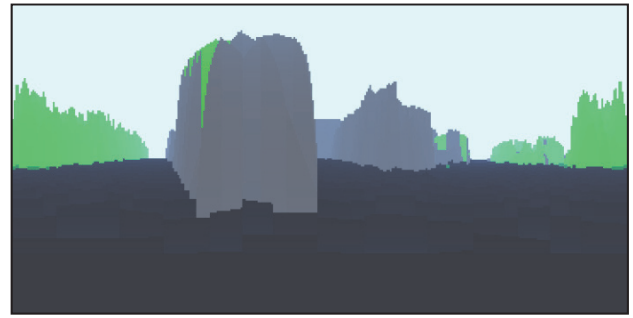


図-12 ある地点における緑視率のオクルージョンマップ (植生を緑色で表示している)



図-13 魚眼レンズを用いて撮影した画像 (左：前方視画像, 右：後方視画像)

ンズは等立体角射影法に基づく全周魚眼型の魚眼レンズである。全周魚眼レンズの特徴は、画角が非常に広く、撮影される写真が円形になることである。このカメラを用いて前後計 2 枚の写真を撮影することですべての方向を撮影することが出来る。実測写真の撮影は 2013 年の 6~8 月に行った。LiDAR データと約 10 年の差があるため、10 年以内に建物が変化していないと思われる場所で計測した。具体的には、真新しい建物が建っている場所や、以前あった建物がなくなっている場所を避けて、対象地域内の 24 か所で撮影を行った。

写真を前後計 2 枚撮影 (図-13) した後、それらの画像を推定値と同じく縦軸が仰角、横軸が方位角になるよう変換した (図-14 上)。変換した画像を空の部分、植生部分とそれら以外の部分に手動で分類 (図-14 下) し、緑視率の実測値を (植生部分の面積) / (全体の面積) として計算する。撮影の際のカメラの高さは、推定値と同条件にするため、1.5m とした。図-13、図-14 は図-12 と同地点での実測値である。この地点における緑視率の実測値は 7.6% である。植生の位置を精確に表すことが出来ていた。検証点の位置を図-15 に示す。

(2) 実測値と推定値の比較

検証地点における計算結果と実測値を図-16 に示した。平均二乗誤差 RMSE = 約 3.5% であり、 R^2 値は 0.50 であった。一部の点では実測値と推定値が大きく

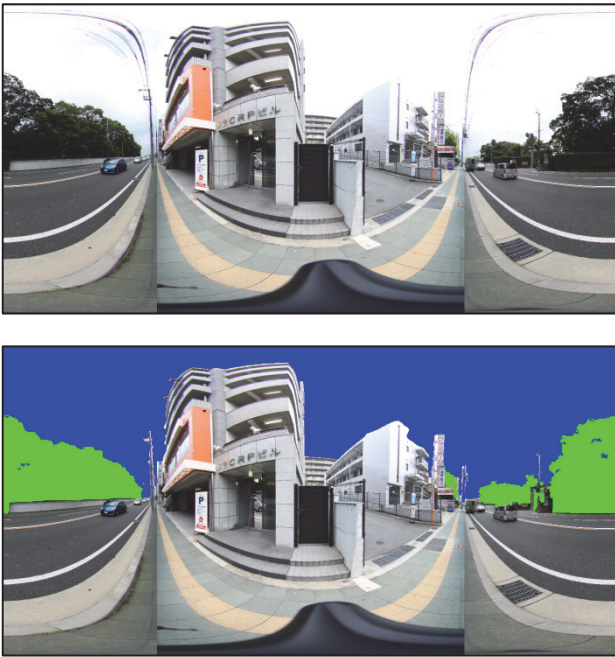


図-14 検証用画像（上：魚眼レンズで撮影した2枚の画像を投影変換した画像，下：手で空と緑を塗り分けた画像）



図-15 検証地点の位置

異なっていた。

図-17の例では、画像右側の生垣の奥行きが狭いために、航空機 LiDAR で生垣をとることが出来なかった。その場所は高さ 0m と扱われ、緑視率が過小評価となった。図-17のように、航空機 LiDAR で3次元情報を取得することができないような細長い生垣がある場所では緑視率は過小に推定される。また、図-18の例では、画像左側で植生とフェンスが被っているが、航空機による計測では上側の情報しか得ることが出来ないため、全体が植生であると扱われ、緑視率が過大評価となった。図-18のように植生と非植生が重なっている場合、緑視率が過大あるいは過小になりやすい。

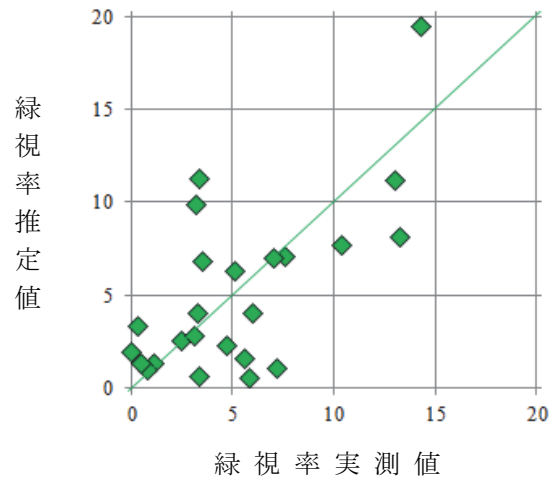


図-16 緑視率推定精度

5. 考察

(1) 制限距離と推定精度

注目点からの距離を制限するかどうかで精度・計算時間は変化する。圍繞度の推定¹⁾で検討したが、注目点からの距離 d_{eye} に制限 d_{limit} を設けた。対象範囲において建物が密集している地域が多い場合、注目点からの距離を制限することで計算に用いる点数を減らし、計算時間を短縮できる。 d_{limit} が小さくなるほど計算に用いられる点数は減少し計算時間は短縮する。一方で視線を遮っていた地物が、計算の際の探索範囲から外れてしまい、圍繞度や緑視率が過小評価になる可能性がある。圍繞度の推定においては、 $d_{limit} = 100$ 以上の場合はほとんど RMSE が変化しないが、 $d_{limit} = 50$ 以下になると次第に圍繞度の RMSE が大きくなった。その結果を踏まえて本研究では、圍繞度の推定で用いられた値と同じく $d_{limit} = 100$ (m) と設定した。

$d_{limit} = 100$ と定めた場合、並木や森林等の影響は考慮することはできるが、山並み等遠景の緑を考慮することはできない。本手法では、 d_{limit} を大きくした場合計算時間が大きく増加するため、注目点から数 km 以上離れている遠景の山並みを考慮に入れることは困難である。計算時間を大幅に増加させることなく遠景の緑を考慮することが今後の課題であると言える。

(2) 植生の抽出精度

緑視率の推定値と実測値の平均 2 乗誤差 RMSE は 3.5%であった。本研究の手法では、一定の大きさを持つ植生に対しては、自動処理でも精確に抽出出来ていた。3.(2) で述べたように、画像の輝度値ではなく航空機 LiDAR データの点群の散布状況を主体に植生を抽出した結果、比較的良好な結果が得られたと言える。

今回は植生の範囲を航空写真と DSM から自動で抽出

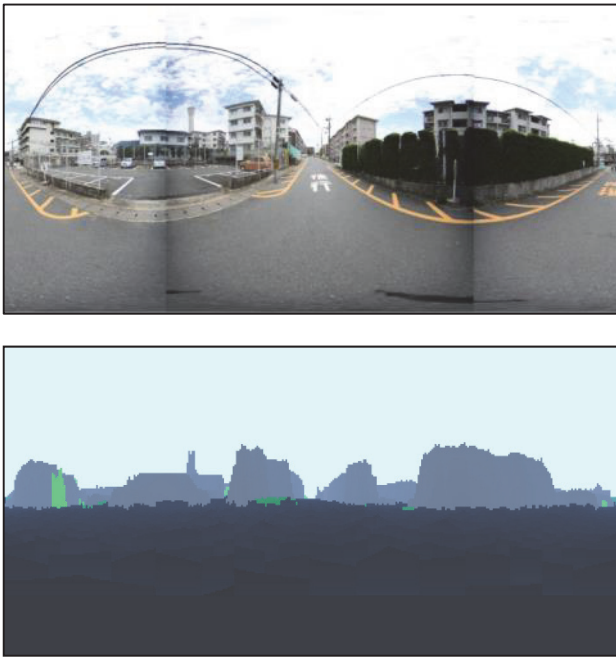


図-17 緑視率の過小推定結果例（上：地上撮影画像，下：植生を緑で表示したオクルージョンマップ）

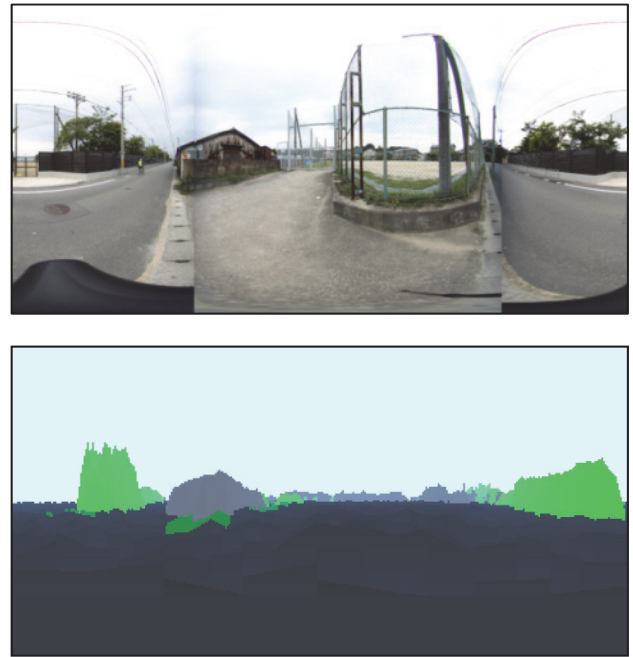


図-18 緑視率の過大評価推定結果（上：地上撮影画像，下：植生を緑で表示したオクルージョンマップ）

したが、植生の範囲を手動で抽出することも可能である。手動抽出では、自動抽出に比べ、より精確な植生範囲を抽出することが出来る。しかし、航空写真から手動で植生範囲を抽出するには多大な手間がかかり、研究の動機である広域での景観指標を効率良く推定するという観点からは望ましくない。

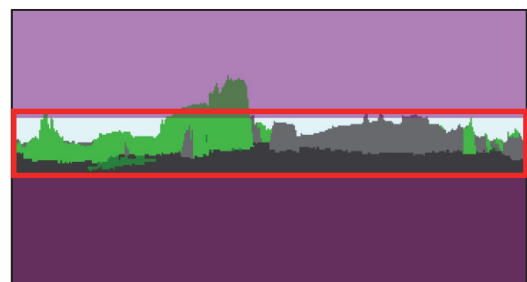
また図-18のように、植栽とフェンスの被さっている場合、植生の抽出が自動・手動にかかわらず同様の問題が生じる。複数の属性のデータが重なってしまう問題は、上空から計測されたデータを使用している限り避けることができない。緑視率の過大評価・過小評価の原因となる図-17や図-18での問題は、たとえ植生範囲の抽出精度が向上した場合でも解決することはできない。この問題を解決するには地上での LiDAR 計測データとの融合が必要になると思われ、今後の検討課題としたい。

(3) 各種の緑視率への変換

1.(1)で述べたように、緑視率の定義は自治体によって個々に定められており、対象地域を含む京都市では、緑視率を仰角 -19 度から 19 度の範囲で定めている。本研究における緑視率は仰角 -90 度から 90 度であるが、柔軟に各種の緑視率の定義に合わせた値を計算することができる。図-19には、京都市の規定に従って推定した緑視率を示す。図-19の場合、緑視率(GI)は6.5%であるが、角度を限定した緑視率(GI_k)は24.2%である。

また、360度の方位角ではなく特定の方位角の範囲に

緑視率(GI) 6.5%



緑視率(京都市) (GI_k) 24.2%



図-19 京都市における緑視率への変換（上：提案手法によるオクルージョンマップ，下：京都市の定義によるオクルージョンマップ）

おける緑視率を計算することも可能である。西宮市の間口緑視率のように、特定の敷地に対する方位角となると当該敷地の位置情報を手動で与える手間が増えるが、計算可能になる。ただし、西宮市の間口緑視率の計算では緑量が視野に近似しているため、完全に一致する緑視率にはならない。しかしながら、上記(2)での植生の過小評価という問題はあるものの、本研究で提案する手法を利用すれば緑量を近似する必要もなくなるため、より現実的に忠実な間口緑視率の計算が可能になると言える。

(4) 投影法の違いによる推定結果への影響

提案手法では、メルカトル図法のように正角円筒図法を採用して緑視率を計算しているため、極 ($\theta = \pm 90$ 度) 近辺の遮断面積が過剰評価される傾向が発生する。特に $\theta = \pm 90$ 度では本来は 1 点で表現されるべき遮断状態が $-180 \text{ 度} < \varphi < 180 \text{ 度}$ の範囲において影響を与えることになる。この過剰評価を避けるためには、等立体角射影法で評価されるべきである。

筆者らは圍繞度の推定において、円筒図法と等立体角射影法による推定精度の違いを検討した⁸⁾。その結果、円筒図法と等立体角射影法で得られる推定値の傾向は、非線形ながらも概ね一致した傾向を示していた。また市街地を中心とした景観の評価においては、 $\theta = 90$ 度付近で遮断される地物は少なく、結果的に両者の差に大きな影響が生じることは少ない。加えて先述の(3)のように、各自治体で定義された緑視率に変換する際には仰角に制限が設けられることがあり、この場合には両者の推定値には有意な差は生じないと考えられる。よって、本研究で提案している緑視率の計算方法には極付近での過剰推定傾向が生じるものの、現実的には大きな影響がないと言える。

6. まとめ

本研究では、航空機 LiDAR と航空写真を用いて、道路上の任意の視点からの緑視率を推定する手法を開発した。本研究における緑視率を、「全視線数に対する植生に遮られる視線数の割合」と定義し、京都市伏見区を対象に航空機 LiDAR と航空写真から推定した。また、対象地域内 24 点の検証点で全周魚眼レンズを用いて撮影を行い、写真上の面積比から緑視率実測値を求めた。検証点 24 点における、緑視率推定値の実測値に対する

2 乗誤差 RMSE = 約 3.5% であり、対象地域の地表面上の点からの緑視率を計算するのに所要時間は約 80 分であった。計測地点によっては、推定値と実測値が大きくずれる場合があったが、まとまった植生がどの程度見えるのかどうかについては妥当に推定出来ていた。今後の課題として、圍繞度・緑視率推定の際、遠くの山など遠景に見えている地物について考慮に入れることが挙げられる。

参考文献

- 1) 小宮佑登, 須崎純一, 上田ゆかり: 航空機 LiDAR を用いた圍繞度の推定方法の開発, 土木学会論文集 F3, Vol. 68, No. 2, pp. 73-84, 2013.
- 2) 篠原修, 屋代雅充: 街路景観のまとまりに及ぼす沿道建物の効果に関する計量心理学的研究, 土木学会論文集, 第 353 号, pp. 131-138, 1985.
- 3) 亀野辰三, 八田準一: 「樹高幅員比」に基づく景観イメージの評価, 日本造園学会誌, Vol. 61, No. 5, pp. 617-620, 1998.
- 4) 武井正昭, 大原昌樹: 圧迫感の計測に関する研究 1 - 圧迫感の意味と実験装置 -, 日本建築学会論文報告集, No. 261, pp. 105-114, 1977.
- 5) 山口敬太, 土屋峻, 久保田善明, 川崎雅史: 京都東山の地形景域の構造と名勝地の景観一開度の概念に基づく地形的圍繞の評価 -, 土木学会論文集 D1, Vol. 69, No. 1, pp. 64-75, 2013.
- 6) Susaki, J.: Adaptive slope filtering of airborne LiDAR data in urban areas for digital terrain model (DTM) Generation, *Remote Sensing*, Vol. 4, pp. 1804-1819, doi:10.3390/rs4061804, 2012.
- 7) 幸良淳志: 密集市街地における航空機 LiDAR データからの 3 次元都市モデル生成システムの構築, 京都大学工学研究科修士論文, 2010.
- 8) Susaki, J., Komiya, Y. and Takahashi, T.: Calculation of enclosure index for assessing urban landscapes using digital surface models, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, pp. 1075-1082, DOI: 10.1109/JSTARS.2013.2271380, 2014.

(2014. 3. 5 受付)

ESTIMATION OF VISIBLE GREEN INDEX IN URBAN AREA USING AIRBORNE MEASUREMENT

Yuto KOMIYA and Junichi SUSAKI

This paper proposes a methodology to estimate a “visible green index” in urban areas using airborne LiDAR and aerial photographs. The index is defined as a ratio of area occluded by vegetation to whole of area in azimuth angle-elevation angle space. The index can be applied to assess local landscape, and it is expected to estimate it in a wide area at low cost. The authors examined the methodology to estimate it using airborne LiDAR data measured in last-pulse mode and aerial photographs. The estimated index map was validated with the ground truth data, and the error was acceptable, approximately 4%. Estimated index has error at some points, but we are able to know influence of much vegetation acceptably by using this metrology. As a result, it was found that the proposed methodology is effective to estimate the index in a wide area at low cost.