森林の樹冠構造がヒートアイランド現象緩和機能に及ぼす影響

加藤 顕^{*1)}・沖津優麻²⁾・常松展充³⁾・本條 毅¹⁾・小林達明¹⁾・市橋 新³⁾

1) 千葉大学大学院園芸学研究科 Graduate School of Horticulture, Chiba University

2) 千葉大学園芸学部 Faculty of Horticulture, Chiba University

3) 東京都環境科学研究所 Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection

摘要: ヒートアイランド現象の緩和対策として、都市緑地による熱環境緩和効果が期待されている。これまでの緑化対策では樹高しか着目されておらず、樹冠構造については考慮されなかった。樹冠構造の異なる緑地を対象に、樹冠構造の発達が地表面温度に影響するか検討した。その結果、樹冠の厚みが増すと日中の表面温度を下げ、夜間の表面温度を下げないことがわかり、昼夜間の温度変化を緩和する効果があった。そのため、樹冠構造を発達することが、都市林におけるヒートアイランド現象緩和機能を強化することがわかった。

キーワード: レーザー、樹冠、垂直構造、ヒートアイランド、都市林、地上レーザー

KATO, Akira, OKITSU, Yuma, TSUNEMATSU, Nobumitsu, HONJYO, Tsuyoshi, KOBAYASHI, Tatsuaki and ICHIHASHI, Arata: **Mitigation effect of urban heat island from forest canopy structure of urban forest.**

Abstract: Urban forest is expected to mitigate heat island. Conventional study only focuses on tree height effect for the mitigation, does not count on forest canopy structure. In this study, the different forest canopy structure is compared with the surface temperature data. As a result, canopy thickness prevented from increasing daytime surface temperature and decreasing nighttime surface temperature to moderate the temperature change between day and night. Therefore, the development of forest canopy structure helps to improve the mitigation effect of heat island in urban forest.

Key words: Laser, Canopy, Vertical structure, Heat island, Urban forest, Terrestrial laser

1. はじめに

都市域では、郊外と比較して気温が高くなるヒートアイランド現象が形成される²⁾。過去 100 年間に於いて、中小規模都市の年平均気温は約 1℃上昇しているのに対し、東京都内の年平均気温は約 3℃上昇している¹⁶⁾。現在、ヒートアイランド現象の緩和対策として、都市緑地による熱環境緩和効果が期待されている。東京都は、「ヒートアイランド対策取組方針」に沿って対策を行っており¹⁶⁾、都市公園内での緑化対策として、高木植栽を多く取り入れ、蒸散効果を高めるために樹冠の大きな街路樹の再生や整備を進めることが提案されている。これまでの研究では、樹高の高い樹木で、葉面積指数が大きいほど、大気が冷却しやすいことがわかっている^{11, 15, 18)}。しかし、これまでの緑化対策では樹高しか着目されておらず、樹冠構造については考慮されなかった。よって、葉量が多いこと、すなわち森林の樹冠構造が発達することで、地表面付近の冷却効果に影響を及ぼすと考え、樹冠構造の異なる緑地を対象に、樹冠構造の発達が地表面温度に違いが生じるかを検討した。

樹冠構造の把握では、これまでブラウンランケット法⁷⁾などの目視による観察が主体に行われてきた。目視による判

定は、測定者の技量による誤差が大きいため、樹冠の量を定量化するには限界があった。より正確な手法として、緑地の 3 次元構造をより定量的に解析できる航空機レーザー測量技術が用いられてきた^{10, 14, 20)}。さらに、可搬性に優れた地上レーザー測量技術による緑地の定量的解析が行われるようになり、景観解析¹⁾、緑地管理^{6, 8, 17, 21)}、森林管理³⁾の研究に用いられるようになった。本研究では簡易的に森林の樹冠構造を把握できる手法として地上レーザーを用いて、森林の 3 次元構造把握を行った。

ヒートアイランド現象の解明には、航空機からの熱画像取得により、樹冠の上側面での熱変化を解析する手法が主流であった¹²⁾。しかし、この手法では森林内部の状況を把握するには限界があり、森林内部の状況を評価できなかった。

本研究の目的は、熱画像による表面温度の違いを森林内部の状況と比較することで、樹冠構造の違いが表面温度へ影響するかどうかを検討した。森林の樹冠構造の違いによる表面温度への影響がわかれば、都市緑地を管理する上で森林構造の遷移や発達に伴う樹形管理に有益な情報を提供できる。

2. 調査対象地

本研究の対象地は、東京都 23 区内で大規模緑地として成

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒271-8510 千葉県松戸市松戸 648 E-mail : akiran@faculty.chiba-u.jp

図-1 新宿御苑における DSM とプロット設置箇所

Fig. 1 DSM and plot location of Shinjuku Gyoen National Garden

立している新宿区の新宿御苑と千代田区の日比谷公園の2個所でデータ収集を行った。新宿御苑の面積は58 ha、日比谷公園の面積は16 haである。都内の公園の中で、本研究対象地としてこの2箇所の公園を選定した理由は、これまで東京都環境科学研究所が航空機観測による熱画像数値データを取得しており、熱画像データが利用可能であることと、超音波風速計や温度計が設置してあり、都市公園の中でも過去に気象調査を研究した実績¹³⁾があったためである。

本研究では、調査地に半径5 mの円形調査プロットを新宿御苑で20箇所、日比谷公園で8箇所設定し、樹冠構造が異なる調査地を選定した。調査地を選定する際は、国土地理院が平成21年に取得した航空機レーザーデータを使用し、航空機レーザーより公園全体のDigital Surface Model (DSM)を作成し、公園内の樹冠構造の分布を考慮してランダムに調査地点を設置した(図-1)。本研究の現地調査は夏に行う計画であったが、2014年夏期のデング熱流行の影響で、都内の公園が閉鎖したため、再開園直後の2014年10月24日～11月4日に新宿御苑、日比谷公園で行った。現地調査は葉が落葉前であったため、葉が付いた状態でデータを取得することができた。その根拠として、気象庁が発表している黄葉日、落葉日⁵⁾の報告で、イチョウを基準に考えると、2014年は11月25日が黄葉日、12月9日が落葉日であった。そのため、本研究の調査日であった11月初旬はまだ葉が付いていたことがわかる。

3. データ

3.1 現地調査のデータ

現地調査では半径5 mの調査区内で毎木調査を行った。測定項目は、プロット中心のGPS、中心から対象木までの距離と方位、樹高、枝下高、胸高直径である。調査範囲はレーザーセンサーで正確に読み取れる半径5 mの円とした。毎木調

表-1 本調査地での主要樹種

Table 1 Main species of our study site.

樹種	学名	本数	低木 (5m 未満)	中木 (5m～ 10m)	高木 (10m 以上)
アオキ	<i>Aucuba japonica</i>	48	48	0	0
イロハモミジ	<i>Acer palmatum</i>	17	1	12	4
シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	17	3	1	13
キンモクセイ	<i>Osmanthus fragrans</i> var. <i>aurantiacus</i>	14	3	6	5
タブノキ	<i>Machilus Thunbergii</i>	14	6	8	0
マテバシイ	<i>Pasania edulis</i>	14	2	9	3
サザンカ	<i>Camellia Sasanqua</i>	13	7	5	1
スダジイ	<i>Castanopsis cusdata</i> var. <i>Sieboldii</i>	13	2	2	9
ヒサカキ	<i>Eurva japonica</i>	11	11	0	0
クスノキ	<i>Cinnamomum Camphora</i>	10	0	0	10
クロマツ	<i>Pinus Thunbergii</i> Par	10	1	2	7
ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i>	10	0	0	10
計65種		計332個体			

査と同時に地上レーザーをプロットの中心に設置し、レーザーが照射される樹木で樹高2 m以上の樹木を全て測定した。枝下高は枝に葉がついている生枝の地上からの高さとした。樹高や枝下高の測定はVertex4 (Haglof社製)を用いて行った。GPSは外部アンテナ付きのTrimble GeoXT (Trimble社製)でデータ取得を行った。毎木調査で測定した本数および主要樹種を表-1に示す。

3.2 地上レーザー

3次元データを用いて森林の樹冠構造を把握するために地上レーザーによるレーザー計測を行った。簡易型地上レーザーセンサーはSICK LMS511 (SICK社製)を使用した。計測可能距離は最大で40 mである。センサー自体にはスキャナー機能がないため、下部に回転台を取り付けることで3次元レーザースキャナーとした³⁾。1回の測定360度を3分ほどで計測できた。

3.3 葉面積指数の測定

調査地での葉面積指数 (Leaf Area Index, LAI) を把握するため、LI-COR LAI-2200 (LI-COR社製)で測定を行った。LAI-2200は、林分内と林分外とで波長320～490 nmの光を測定し、両者の差から林冠の葉が吸収した光の割合を算出し、LAIを算出した。

3.4 サーモカメラによる撮影

葉量の違いによる樹冠表面と林床表面との表面温度の差を測定するため、樹冠表面と林床表面の表面温度分布を地上で樹木を樹木側面からサーモカメラによる撮影することで定量的に温度差を把握した(図-2)。サーモカメラとは、赤外線サーモグラフィを用いて撮影する装置である。サーモカメラを用いることで、撮影対象物から発せられる赤外線放射エネルギーを温度に変換し、温度分布を画像データとして表示できる。本研究で使用したサーモカメラは、testo890 (テスト

図-2 サーモカメラによって取得された熱画像

Fig. 2 Thermal image taken by thermo-camera.

一社製)である。

3.5 航空機による表面温度測定

樹冠上部の表面温度分布を把握するために、東京都心エリアの熱画像数値データ(表面温度)を使用した。東京都環境科学研究所が昼夜と2回撮影したデータを用い、日比谷公園は2013年8月19日12:17~12:53(昼間), 20:36~21:19(夜間), 新宿御苑は2014年8月19日12:01~12:50(昼間), 20:03~20:54(夜間)にヘリコプターにより撮影した熱画像データを使用した(図-3)。

4. 解析手法

地上レーザーによる3次元データから樹冠構造を把握し、樹冠構造の違い、特にその樹冠の厚さと地表面温度差との関係を把握した。

地上レーザーから樹冠の厚さを定量化するために、ボックス法という手法を用いた³⁾。ボックス法によって得られた樹冠の厚みを現地調査で取得したデータと比較した。さらに、ボックス法によって得られた樹冠の厚みを地表面温度の差と比較し、樹冠の厚みによる地表面温度差への影響を把握した。

4.1 ボックスデータの作成

樹木が3次元空間を占める割合を定量的に把握するため、地上レーザーデータから50 cmの立方体(ボックス)を作成した。ボックスとは、三次元空間を立方体で区切り、樹木を三次元の箱で表現したデータである(図-4)。地上レーザーのセンサーを設置した場所から半径10 mを解析範囲とした。現地調査での半径とボックスの解析範囲での半径が違う理由として、現地調査では樹木の根元の位置で調査対象木を決め

図-3 航空機によって取得された熱画像数値データ

Fig. 3 Thermal digital image taken by airborne vehicle.

ていたため、調査範囲を半径5 mとして毎木調査した。ボックスによる解析では樹冠部を解析対象としたため、対象木の根元が5 m以内の調査範囲内でもその樹木の樹冠部が半径5 mの範囲外に出ている場合もあった。そのため、ボックスで解析対象とする半径を広く設定し、10 mとした。レーザーデータをボックスに変換する際、地面からのレーザー反射を除く必要があったため、地形図を作成し、高さ0.5 m以下のデータ除いて解析を行った。

ボックスデータから樹冠の厚みを算出するために、ボックスの数を高さ別の頻度分布としてヒストグラムを求めた。そのヒストグラム(ボックスの垂直分布)から下から上へ0~100%のスケールとし、各パーセンタイル値での高さを求めた。プロット単位での樹高は、99パーセンタイル値での高さをを使用した。プロット内でのボックスの最も高い場所をそのプロットの樹高とすると、樹高を超える高さからの反射(ノイズ)が含まれる場合があったため、99パーセンタイル値を樹高とし、ノイズの影響を除去した。プロットでの枝下高は、現地調査で取得した枝下高とボックスの垂直分布を比較し、ボックスから得られる枝下高を測定した。ボックスの垂直分布から得られた樹高と枝下高の差を「樹冠の厚み」とした。

4.2 地上で撮影したサーモカメラによる表面温度差

現地調査でサーモカメラによる撮影では、樹冠上部と林床が入るように撮影した。testo890による専用のソフトを用い、調査プロットでの樹冠上部と林床、それぞれ3箇所ずつ熱画像上で地表面温度を測定した。樹冠上部と下部のそれぞれの平均値を求め、その差分を地表面温度差として把握した。

地上から樹冠上部の熱画像を撮影した際、撮影場所は樹木を真下から見上げる角度で撮影した訳ではなく、樹木から離れた位置で、樹冠形状全体が十分に撮影できる場所から撮影を行った。そのため、葉の裏側での表面温度ではなく、上空から撮影された熱画像データと同じ、樹冠表面での表面温度データが取得できた。

図-4 3次元データのボクセル化

Fig. 4 Voxel analysis of three dimensional data.

図-5 現地調査から得られた樹高と樹冠の厚みとの関係

Fig. 5 The relationship between tree height and canopy thickness from field data

図-6 樹冠の厚みと LAI との関係

Fig. 6 The relationship between LAI and canopy thickness.

4.3 航空機データによる表面温度の算出

地上でサーモカメラによって撮影した画像から樹冠上部と林床での地表面温度差を取得したが、さらに本研究では航空機によって取得されたデータを用いて、昼夜間の表面温度の違いと樹冠の厚みを比較した。調査プロット位置でのデータを比較するために、現地調査時に取得した GPS の位置から半

径 5m の範囲での表面温度データを切り出し、その平均値を昼夜間の表面温度差として算出した。

5. 結果と考察

本研究では、樹冠構造の発達を表す樹冠の厚みに注目し、表面温度の差との関係を把握するために、調査したすべてのプロット（合計 28 プロット）から下層植生の影響が無い調査区（計 15 プロット）を分けて、解析を行った。

5.1 樹冠の厚みと樹高との関係

現地調査で計測した樹高と枝下高の差から樹冠の厚みを計算し、樹高との関係を比較した（図-5）。この結果から、低木も高木も樹高に対して樹冠の厚みにバラツキが見られる。樹冠構造によるヒートアイランド現象の緩和機能の効果を検討する上で、樹高だけを指標して評価するのではなく樹冠の厚みも考慮した解析が必要であることが明らかである。樹冠の厚みを計測できる地上レーザーを林内に設置し、3次元データを取得することが、個体間や樹種による樹冠の厚みの違いを表現でき、さらには多様な樹種が混在する都市公園による場所に有効な手法であることがわかる。

5.2 樹冠の厚みと LAI の関係

地上レーザーによって把握したボクセル解析（樹冠の厚み）と現地調査時に測定した LAI と比較した結果、LAI が増加すると樹冠の厚みが増加する傾向があった（図-6）。LAI と地上レーザーから推定した樹冠の厚みに正の関係があるため、ボクセル解析によって葉量に関する樹冠構造の把握ができたと考えられる。

5.3 樹冠の厚みと樹木上下間の表面温度差

サーモカメラで取得した樹冠表面と林床（樹木上下間）の表面温度差とボクセル解析による樹冠の厚みとの間に正の相関関係があった（図-7）。樹冠の厚みが厚くなると葉量の占める割合が大きくなる。葉には蒸発散作用があり、気化熱により周囲の熱を吸収し、気温を低く保つ機能がある。さらには、樹冠の厚さが厚くなることで日射の遮断や気温が高い日の林床の地面からの蒸発を防ぐ機能があると考えられる。

5.4 樹冠の厚みと昼夜間の表面温度差

樹冠の厚みが厚い樹林地ほど昼間の表面温度が低くなる負の相関があった（図-8）。樹冠が厚くなると葉量が多くなるため、蒸発散量が増える。これらの効果から周囲の気温の上昇を緩和していると考えられる。

日中の表面温度とは対照的に、夜間では樹冠の厚さと表面温度の間に正の相関があり、樹冠が厚くなるほど表面温度は高くなる傾向があった（図-9）。この結果から、樹冠の厚みが未発達な緑地では放射冷却により冷気が形成され则认为られる。これまでは航空機レーザーを用いて植生高を計測し、植生高と樹冠の厚みを同等の指標として考え、蒸散作用を評価していた¹²⁾。しかし、図-5 より、樹高と樹冠の厚みが必ずしも一致するとは限らない。特に、本研究で対象とした都市緑地では樹高と樹冠の厚みが一致しない森林構造を持つ場所が

図-7 樹冠の厚みと樹冠上下間の表面温度の差の関係

Fig. 7 The relationship between canopy thickness and the surface temperature difference of the upper and the bottom part of canopy.

図-8 樹冠の厚みと日中の表面温度の関係

Fig. 8 The relationship between canopy thickness and daytime surface temperature observed by airborne vehicle.

図-9 樹冠の厚みと夜間の表面温度の関係

Fig. 9 The relationship between canopy thickness and nighttime surface temperature observed by airborne vehicle.

多いため、地上レーザーを活用して樹冠の厚みを計測することが、表面温度の影響を把握するためには、より簡易的で有効な手法であると考えられる。

樹冠の厚みが増加するほど、昼夜間の表面温度差が小さくなる傾向があった(図-10)。樹冠構造が発達し樹冠長が長くなった緑地よりも、樹冠構造が未発達で、樹冠長が短い緑地の方が昼夜間で表面温度に変化が生じやすいことがわかった。よって、樹冠の厚みが表面温度の急激な上昇や下降を緩和する効果があり、ヒートアイランド現象の緩和する効果として機能があると考えられる。

図-6 より樹冠の厚みが増すことで葉面積が増加すれば、植物の蒸散作用により潜熱が消費され、植物の葉面の表面温度が低く保たれるため、顕熱量の減少に寄与すると考えられる。しかし、ヒートアイランド現象の緩和する効果の結果として「人が感じる温度低下」に関しては、放射環境の改善が必要であることが過去の研究から指摘されており⁹⁾、表面と大気間の熱伝達係数と、顕熱、潜熱のバランスに影響を受けるため、今後フラックス計測をし、さらなる検討が必要である。

これまでの研究では、航空機からの熱画像が主体に行われてきたため、樹冠上部での表面温度差でしか表面温度差を比較できなかったが、本研究で使用した簡易型地上レーザーを用いることで、森林の樹冠構造の発達で樹冠の厚みが増すことが、表面温度の差に違いが生じることが評価できるようになった。森林や草地ではアスファルトに比べ吸収した放射量の大部分を蒸発散に費やすため、地表面温度上昇が抑制される¹³⁾。樹種によって蒸発散速度に違いはあるが¹⁹⁾、その蒸散量に関係が深い「樹冠の厚さ」がヒートアイランド現象を緩和する要因の一つであることが本研究で示された。

さらに、森林は地表面と大気間の顕熱や潜熱輸送がアスファルトとは異なるため、周辺大気の上昇量の違いから気圧差を生じさせる。その気圧差が小規模でも風を循環させる⁴⁾。様々な緑地の構造的違いを生み出すことで、周辺気象を変化させ、ヒートアイランド現象を緩和させる効果を強化することが可能である。樹冠構造が未発達な場所では、夜間の放射冷却による周辺大気の温度を低減する効果がある。樹冠構造が発達することで、同様に放射冷却による温度を低減する効果が夜間にあるが、さらに昼間の日射遮断効果もある。これらのことから、緑地が少ない都市域では樹冠構造を発達させる公園管理を行う必要がある。

都市域にある緑地の質を評価するためには、今後さらに森林域での生態系サービスを定量化していく必要がある。緑地の気象緩和機能をより正確に評価するために、地上レーザーから得られる詳細な3次元データを有効活用し、さらなる解析手法を発展させていきたい。

6. まとめ

本研究では、樹冠構造の異なる緑地による表面温度差の違いを比較するために、地上レーザーによって取得される3次

図-10 樹冠の厚みと昼夜間の表面温度の関係

Fig. 10 The relationship between canopy thickness and surface temperature difference of daytime and nighttime observation.

元データから樹冠の厚みを把握し、地表面温度差と比較した。研究対象地として新宿御苑と日比谷公園を選定し、3次元レーザーからボクセル法を用いて樹冠の厚みを測定した。その結果、樹冠の厚みと表面温度の差に高い相関関係があった。樹冠の厚みが増すと日射遮断により昼間の表面温度を下げ、夜間の表面温度を下げないことがわかった。樹種による蒸発散速度の違いがあるが、樹冠が発達すると蒸発散作用が促進され、昼夜間の温度変化を緩和する効果があった。本研究で得られた結果より、樹冠構造を発達させることで、都市緑地におけるヒートアイランド現象緩和機能を強化できることがわかった。

謝辞：本研究は、環境省の環境研究総合推進費（2RF-1501）により実施された。

引用文献

- 1) 早瀬真弓・今西純一・中村彰宏・戸田健太郎・森本幸裕 (2010) 地上型レーザースキャナを用いた庭園の借景復元に関する景観シミュレーション. ランドスケープ研究 73(5): 812-816.
- 2) 本條 毅・高倉 直 (1985) リモートセンシングによる都市内緑地の温度分布の解析. 造園雑誌 49(5): 299-304.
- 3) 加藤 顕・安藤祐樹・吉田俊也・梶原康司・本多嘉明・小林達明 (2014) 簡易型地上レーザーを用いた毎木調査法. 日本緑化工学会誌, 40(1):136-141.
- 4) 近藤純正(1999) 大気境界層の気象 (Ⅲ) 地表面の熱収支と気象, 天気 46: 769-777.
- 5) 気象庁. “生物季節観測の情報”. 気象庁ホームページ. <http://www.jma-net.go.jp/matsue/tokei/seibutsu/index.htm>

ml (参照: 2015 年 5 月 1 日).

- 6) 守村敦郎・中村彰宏 (2014) タブレット端末を用いた樹木管理に関する警官シミュレーションシステムの開発. ランドスケープ研究: 日本造園学会誌, 77(5):521-524
- 7) 森本幸裕・小林達明(2007) 最新 環境緑化学. 朝倉書店
- 8) 中村彰宏・戸田健太郎・前中久行 (2009) 地上型レーザースキャナを用いた天然記念物に指定されたソテツ (*Cycas revolute* Thunb.) の形状計測. 日本緑化工学会誌, 35(1):63-68
- 9) 成田健一(1999) 緑のカーテンは周囲空気を冷却するのか? 環境情報科学論文集 23:167-172.
- 10) 根本 光・加藤 顕・小林達明 (2012) 航空機レーザー測量を用いた異なるスケールアプローチでのスギ・ヒノキ林材積の推定. 日本緑化工学会誌, 38(1):79-84
- 11) 佐藤 浩・小荒井 衛・江田敏幸・伊藤麻子 (2008) 新宿御苑における航空レーザー測量データを用いた樹林の葉面積積指数(LAI)のマッピング. 写真測量とリモートセンシング, 47(3):37-47
- 12) 佐藤 浩・小荒井 衛(2012) 航空機搭載センサデータを用いた新宿御苑と八王子・長沼公園における輝度温度分布の特徴. 日本リモートセンシング学会誌, 32(3):149-156
- 13) 菅原広史・成田健一・三上岳彦・本條 毅・石井康一郎 (2006) 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件の依存性. 天気, 53(5): 393-404.
- 14) 田口 仁・遠藤貴宏・安岡義文 (2008) LiDAR 点群データを用いた樹冠形状モデルに基づく単木樹冠抽出および樹高推定. 日本リモートセンシング学会誌, 28(4):331-341.
- 15) 竹林秀樹・森真佐雄・芝池英樹・森山正和 (2002) 斜面冷気流における冷気生成機構に関する研究. 日本建築学会技術報告集 16: 181-184.
- 16) 東京都環境局. “ヒートアイランド対策取組方針～環境都市東京の実現に向けて～”. <https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/attachement/heathousin.pdf> (参照: 2015 年 3 月 15 日).
- 17) 戸田健太郎・中村彰宏・大藪崇司・前中久行 (2009) 地上レーザースキャナを用いた 3 次元環境計測における樹高の推定. 日本緑化工学会誌, 35(1):69-74.
- 18) 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條毅・木村圭司・桑田直也 (2004) 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象. 地理学評論, 77(6): 403-420.
- 19) 野島義照 (1999) 都市の夏を冷やす緑の力 (その 1), PREC study report 5:28-37.
- 20) 蔡 斌・秋山 侃・魏 宏 (2006) 航空レーザー計測による広葉樹林の樹高, 樹冠面積の抽出. 写真測量とリモートセンシング, 45(3):4-11.
- 21) 山岸 裕・松江正彦 (2011) 地上型レーザースキャナを用いた樹木の形状及び堆積計測の試み. 日本緑化工学会誌, 37(1):241-244.

(2015.7.27 受理)