

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660285

研究課題名(和文) 3次元形状データを用いた巨樹の力学的安定解析

研究課題名(英文) Analysis of mechanical stability of a large mature tree using 3D shape data

研究代表者

中村 彰宏 (NAKAMURA, Akihiro)

大阪府立大学・生命環境科学研究科(系)・准教授

研究者番号：20264814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：クスノキ巨樹を対象とした地上からの3次元計測を行った。2年分のデータを用い、クスノキ個体を主幹部、大枝部、葉群にわけ、幹、枝を円錐台としてモデル化でき、推定した葉量をもとに個体全体の重量分布を求めることができた。このデータを用いて現在設置されている支柱への応力を求め、強風時の風圧による回転モーメントを推定し、強風時での安定性を確認できた。直達日射計、全天日射計、3次元計測データを用いて、クスノキ群落下の直達日射量の透過率を推定できたが、葉量を精度良く推定することはできず、葉群内部の枝のモデル化、葉の傾斜角、日射計のセンサー部面積などの再検討が必要であることが確認された。

研究成果の概要(英文)：A volumetric model of the trunk, branches, and leaves of a large, mature Cinnamomum tree was built from 3D point cloud data obtained via a terrestrial LIDAR survey of the tree. The model was then used to calculate the weight distribution of the tree and the forces exerted on a supporting pole due to the weight of the branch it supported and the force applied to that branch under high wind conditions. Both the branch and the pole were assumed to be static for the calculations. Leaf area was also estimated using transmittance ratios of direct solar radiation under the Cinnamomum canopy. The transmittance data was obtained from a direct pyranometer in an open site and global pyranometers placed under the canopy. However the estimation of leaf area was unsuccessful. Data on leaf inclination angles, and sensor area and data allowing the discrimination of leaves and twigs were thought to be necessary.

研究分野：緑化学

キーワード：巨樹 クスノキ 3次元計測 樹冠形状 重量分布 力学的強度

1. 研究開始当初の背景

わが国の神社などには巨樹が存在し、地域のシンボルとなることも多い。これらは老齢であることが多く、不必要なストレス発生回避のため、樹木診断がしばしばなされる。樹木診断には、目視による樹勢や葉の状態からの定性的な評価、土壌理化学性、根系状態、個葉の生理特性からの定量的評価がある。個葉などからの生理特性評価手法は大きく発展しているが、巨樹を対象とした例は少なく、個葉から個体へのスケールアップ手法も十分に確立していない。一方、目視による樹勢診断はしばしば行われるが、古い評価基準が用いられたままである。巨樹の厳格な定義はないものの、環境省による巨樹・巨木林調査では、地上から1.3mの高さでの幹周が3mを超える個体が対象となり、樹高や幹周が計測されている。これらの手法だけでは、長期間生育を続けた貴重な巨樹への診断法としては不十分と言わざるを得ない。近年、3次元計測による群落構造研究は多々あるが、わが国特有の巨樹を対象とした例はまだ少ない。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、物体の形状を正確に測定できる3次元計測を巨樹に適用して、樹木形状の定量的評価を目的とした。環境省の巨樹の上位に多くを占め、温暖地の神社に多く植栽され、孤立木として大きな樹冠を有し、これまで3次元形状のモデル化が行われていない、複雑な樹幹・枝の形状をもつクスノキの巨樹を対象とした。複雑な形状の定量的評価として、樹高、断面積、樹幹幅、樹冠面積を算出し、巨樹間の定量的な比較を行うこと、幹や枝をモデル化して体積を求め重量分布を求め、葉群の重量推定のために、日射透過率の測定を行い、群落における透過光の計測から Lambert-Beer の法則を応用して葉量を推定し、クスノキ個体の重量を正確に推定することを目的とした。さらに、推定した重量分布をもとに、クスノキの枝や幹の力学的強度を定量的に推定することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) クスノキ巨樹を対象とした3次元計測と形状の定量的評価

環境省の巨樹ランクで5位とされ、国の天然記念物に指定された福岡県築上郡築城町の本庄の大楠を対象に、2013年12月3日、2014年11月5日に、地上設置型レーザスキャナを用いてクスノキ個体の測量を行った。両年ともに14カ所に設置し、様々な角度から計測した。複数地点のデータを合成するために、両年ともに高輝度反射体をクスノキ個体周辺に20個以上配置し、この反射体の重

心をトータルステーションで計測し、後方交会法でレーザスキャナ設置点とベクトルを算出して、各データを座標変換し、全データを合成した。2014年のデータを用いて、樹高、樹冠幅、樹冠面積を求めた。また、本庄の大楠と同様に国指定の天然記念物に指定され、環境省の巨樹ランクで5位とされる佐賀県武雄市の川古の大楠で2012年に取得した3次元データと比較した。

(2) 巨樹のモデル化と重量分布と力学的安定性の検討

計測した中で最も大きかった福岡県築上郡築城町の本庄の大楠を対象に力学的な安定解析を行った。まず、このクスノキ個体の重量分布を求めた。点群のままでは安定解析のための重量分布を求めることができないため、形状のモデル化を行った。下部の主幹と、その上部から枝分かれした大枝群に、制御・処理ソフトを用いて手動で分離した。大枝群については、主幹上部から枝分かれした各大枝に分離した。それぞれの大枝は、主幹上部の分枝基部から先端方向に向けて、分岐点や屈曲点、または一定間隔ごとに直径の計測を試みた。一定間隔ごとに点群を切りだし、楕円近似によって枝の直径の自動推定を試みたが、完全な枝のデータがないこと、隣接した枝葉などのノイズ等によって適切な直径値の推定ができなかったため、手動で直径の読み取りと切り出し部の座標を読み取り、枝を2つの直径の円で構成される円錐台としてモデル化した。そして、既存の密度を用いて重量を推定した。枝の直径が10cmになるまで計測し、その先は葉群を楕円錐として近似して、長径、短径、高さを計測して葉群体積を求め、大阪府立大学内に植栽されたクスノキで実測した葉群体積と重量の関係から、重量を推定した。2014年のデータを主に使用したが、一部の枝のデータが計測できてなかったため、その部分は2013年のデータを用いた。

(3) クスノキ孤立木を対象とした3次元計測と透過光計測と葉量の推定

大阪府堺市に位置する大阪府立大学キャンパス内のクスノキ孤立木を対象に、2014年9月14日に地上設置型レーザスキャナを用いてクスノキ個体の3次元計測を行った。そして、クスノキ樹冠下の5地点に全天日射計を設置して透過日射量を2015年9月14日と9月15日に計測した。樹冠の葉群層を透過する直達成分の透過率を求めるため、ほぼ全天下に直達日射計を設置した。各日射計のデータはデータロガーで1秒ごとに記録した。これらのデータを用いて、樹冠下の直達日射成分の透過率を算出し、樹冠形状をもとに葉量の推定を試みた。

4. 研究成果

(1) クスノキ巨樹を対象とした 3 次元計測と形状の定量的評価

福岡県の本庄の大楠を対象として 2014 年に計測した 14 地点の点群データを、仮設基準点の座標を用いて後方交会法で座標変換し、全データを合成してクスノキ個体の点群を作成し、クスノキ個体以外の点群を削除して、クスノキの側面（東西）からみた平行透視図法で作成した立面図を図 1 に示す。また、同様に佐賀県の川古の大楠を対象として測定した結果を、地際の中心部分を揃えて図 1 に示す。両個体は遠く離れた場所に生育しているが、デジタルデータであるため、両個体の形状を比較することができる。図 1 にある取得できた点群における東西および南北の最大、最小値、鉛直方向の最大値、また地面の標高をもとに、両個体の樹高、2 方向の樹冠幅を算出した。さらに上空からみた樹冠投影図を図 2 に示し、この点群から樹冠面積を算出し、これらの形状のパラメータを表 1 に示

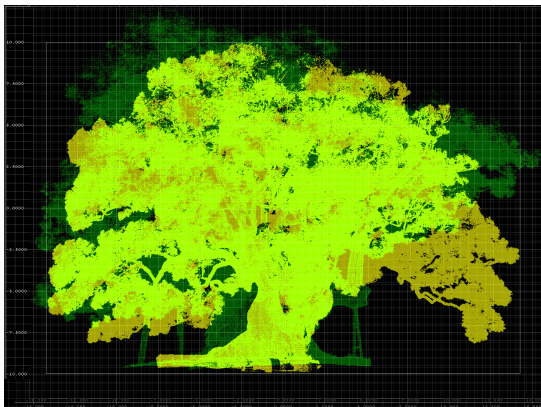


図 1 福岡県の本庄の大楠（緑色）と佐賀県の川古の大楠（黄色）の平行投影図法による立面図（黄緑部分は両個体が重複して存在）

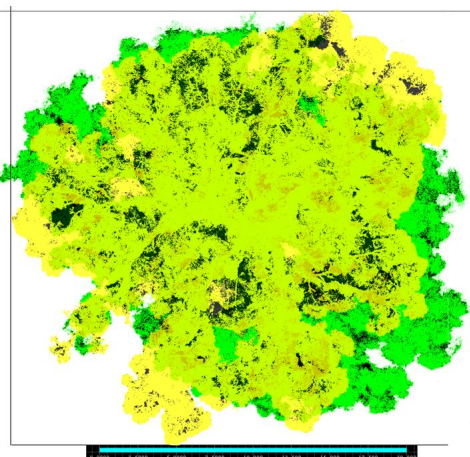


図 2 福岡県の本庄の大楠（緑色）と佐賀県の川古の大楠（黄色）の樹冠投影図（黄色部分は両個体が重複して存在）

表 1 福岡県の本庄の大楠（緑色）と佐賀県の川古の大楠（黄色）の形状パラメータ

	本庄	川古
樹高(m)	21.7	20.0
樹冠幅 南北(m)	27.1	28.8
樹冠幅 東西(m)	31.0	28.7
樹冠面積(m ²)	464.7	458.8

した。

(2) 巨樹のモデル化と重量分布と力学的安定性の検討

重量分布を求めるために、福岡県の本庄の大楠を対象に、幹・枝のモデル化を行った。このクスノキ個体は、古くから主幹部に腐朽部があり、外部からの計測値だけでは、幹の断面積を求めることができない。そこで、腐朽部内部にレーザスキャナを設置して計測したデータを用いて、内部の腐朽状態のデータを追加し、1 m ごとに水平に 20 cm の厚さで切りだした。そして、目視で、生存部と枯死部を区分し、生存部の断面積を求めた（図 3）。このように複雑な形状の主幹部であるが、上部に枝分かれする 6.2 m までを 1 m ごとに断面積を求め、密度を用いて重量を求めた。枝については、分枝点や屈曲点で直径を計測し、両端を円とした円錐台として枝をモデル化した。複雑な形状であるため、955 箇所直径を計測し、各円錐台の体積を求め、既存の密度を用いて重量を求めた。葉群については 358 個に区分し、葉群の体積を楕円錐として求めた。大阪府立大学に生育するクスノキ個体で採取した葉群体積と葉群重量の関係式から、本庄の大楠の葉群の重量を推定した。下部の主幹部とその上部の大枝にわけ、枝と葉群ごとの重量を求めたのが表 2 である。地上部の総重量は 58 t と推定できた。枝の形状をモデル化しているため、枝の直径に $\pm 5\%$ の誤差があった場合には、枝全体で $\pm 10\%$ の重量の誤差が生じることが明らかとなった。葉群の推定にも誤差は含まれるが、全体の 2.4% と小さく、葉群が全重量の誤差に与える影響は小さいことが確認できた。



図 3 福岡県の本庄の大楠の主幹における地上高 150 cm から 170 cm までの断面図

表 2 本庄の大楠の重量分布

番号	総重量	枝重量	葉群重量
主幹	26,148	26,148	0
斜幹	2,468	2,468	0
1	254	192	62
2	1,532	1,411	121
3	511	490	21
4	1,245	1,192	53
5	5,881	5,676	205
6	1,222	1,180	43
7	1,047	939	109
8	2,051	1,923	124
9	437	426	11
10	9,612	9,362	250
11	1,351	1,302	49
12	1,568	1,463	106
13	1,307	1,176	131
14	1,392	1,261	131
	58,026	56,609	1,416

(kg)

この大枝群の中で、最も重量が大きく、支柱が設置されている枝を対象に力学的安定性に関する検討を行った。現在設置されている支柱へ、無風時の回転モーメントおよび強風時(30 m/s および 50 m/s)にクスノキ樹冠にかかる風圧モーメントを算出し、コンクリート支柱断面への応力を算出した。重量分布を計算するための各円錐台の重心を求めた。そして、この大枝の根元部分と支柱との接点方向を伸長方向とし、この方向への各円錐台のモーメントを求め、葉群のモーメントを計算し、全モーメントを求めた。そして、強風時の風圧モーメントは樹冠面積を切り出して求め、抵抗係数を0.1, 0.2, 0.5 に設定して算出した。その結果を表 4 に示す。コンクリートの圧縮強度は 18~150 N/mm²とされる。それゆえ、表 4 中の値はいずれもこの値よりも小さく、強風時でも現在の支柱で支えられると定量的に判断できた。

表 4 強風時の本庄の大楠のモーメントとコンクリート支柱への応力

風速	抵抗係数	モーメント	コンクリート応力
m/s	kg	MN·m	N/mm ²
30	0.1	0.90	0.81
30	0.2	1.38	1.24
30	0.5	2.82	2.54
50	0.1	1.75	1.58
50	0.2	3.09	2.78
50	0.5	7.10	6.39

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 0件)

[学会発表](計 0件)

[図書](計 0件)

[産業財産権]
出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 彰宏 (NAKAMURA, AKIHIRO)
大阪府立大学・大学院生命環境科学研究
科・准教授
研究者番号：20264814

(2)研究分担者

木全 卓 (KIMATA TAKASHI)
大阪府立大学・大学院生命環境科学研究
科・講師
研究者番号：60254439