地上型レーザスキャナを用いた天然記念物に指定されたソテツ (*Cycas revoluta* Thunb.) の形状計測

中村彰宏¹⁾・戸田健太郎¹⁾・前中久行¹⁾

1) 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 Grad. Sch. of Life and Environ. Sci.,
Osaka Pref. Univ. nakamura@envi.osakafu-u.ac.jp

摘要: 天然記念物のソテツを対象に、形状の記録を目的として地上型レーザスキャナを用いた3次元計測を行った。ソテツ周辺の地上と隣接する建築物の2階などの計18地点で計測し、各地点で得られたデータ群を座標変換して合成した。これらのデータから平面図や立面図を作成した。3Dデータから作成した立面図と手測りで作成した立面図は概ね一致したが、水平方向に50 cm程度のずれがあった。また、3Dデータから作成した立面図では、根本などの見通しの悪い部分のデータが欠測となることもあった。2回の計測データ群間において、3個体のソテツの最高標高値を比較したところ、差は2.1 cm以下と小さく、レーザスキャナによる形状計測が良好に行われたことが明らかとなった。

キーワード: 地上型レーザスキャナ, ソテツ, 形状計測, 天然記念物, 平面図, 立面図

NAKAMURA, Akihiro, TODA, Kentaro and MAENAKA Hisayuki: **A terrestrial laser scanning survey of *Cycas revoluta* Thunb. designated as natural monument**

Abstract : To quantify of tree shape, a terrestrial laser scanning survey was performed on *Cycas revoluta* Thunb. designated as natural monument. Scanning at 18 points was carried out on the ground around *C. revoluta* and on the second floor of adjacent building. Plan and elevation view of *C. revoluta* were created with these data after coordinate transformation. There was a difference with 50 cm on horizontal trunk position between by man made survey and by 3D data. In the elevation view drawn with 3D data, there was a missing area in the poor visibility location such as base of trunk. Comparing two sets of scanning data, height difference between individual highest point of *C. revoluta* were within 2.1 cm for three trees. These indicated the shape observation was successfully conducted.

Key words : terrestrial laser scanner, *Cycus revoluta*, shape measurement, natural monument, plan view, elevation view

1. はじめに

近年、測器の性能向上などを背景に、レーザスキャナを用いた3次元計測の事例が増加している。レーザスキャナは航空機に搭載され、広域の地表面を対象として行われてきた。例えば、林冠の高さや閉鎖度などを用いたリスの生息適地評価¹²⁾、北方針葉樹林での樹種同定¹⁵⁾、干潟の流路抽出¹¹⁾、泥火山山体斜面の崩壊地形解析¹⁾大規模地すべり地の地形解析¹³⁾などの多様な自然科学分野で応用された。一方、地上型レーザスキャナを用いた研究ではやや狭い範囲を対象とし、融氷河流による堆積物変化量の評価⁴⁾、干潟の微地形評価¹⁹⁾、樹木位置や胸高直径、樹高の抽出⁹⁾などの自然科学分野での応用例がある。考古学などで文化財を対象とした3次元計測も盛んに行われ、遺跡や歴史的建造物の計測^{2,8,10)}、銅鏡の表面形状からの自動分類に関する研究¹²⁾もある。これまでに文化財である天然記念物や巨樹・大径木に関する研究には、移植やその後の養生管理^{18,20)}、治療⁶⁾、樹勢回復のための根

圏改良⁷⁾、形状計測を含めた樹木医学的研究³⁾などがあるが、3次元計測が可能なレーザスキャナを用いた樹木の形状計測に関する研究はほとんどない。

そこで、本研究では、樹木の生育特性と今後の成長量を算出するために必要な現在の樹木形状を記録することを目的に、樹木群を対象としたレーザ計測を試みた。そして、樹木頂部の標高データを用いた精度検証、過去の写真と3次元データからの描画によるこれまでの形状変化の定性的評価も試みた。

2. 調査方法

2-1 調査地点

調査対象とした樹木は大阪府堺市の妙国寺（敷地面積約0.56 ha）に生育するソテツ群である。このソテツは、大正13年に「妙国寺のソテツ」とされた国指定天然記念物である。客殿の庭前にある玉垣内に生育し、高さは5 mに達するとの報告がある¹⁵⁾。現在は8株（A～H）が存在している¹⁷⁾。

2-2 レーザ計測方法

このソテツ群を対象に、2008年9月16日に、地上型レーザスキャナ（Riegl社、LMS-Z420i）を用いて3次元計測を行った。この測器（以下、レーザスキャナとする）は、波長1,550 nmのパルスレーザを射出し、ターゲットで反射されたレーザを検知し、その飛行時間からターゲットまでの距離を、受光強度から反射率を算出する。水平方向に360°、鉛直方向に±40°、両方向ともに最小0.004°の角度ステップでパルスの射出し、対象物の3次元座標を計測できる。距離分解能は5 mm、距離精度は距離依存（<20 ppm）±10 mm（単発計測）、50 mの距離での計測時の再現性は、±8 mm（単発）、±4 mm（平均）とのカタログスペックをもつ。

本研究では、樹幹を含めた形状を計測するために、葉が幹を遮蔽しないように事前に葉をロープで上部に絞り込む処理をした。まず、この状態で地上の8地点、本堂の2階（地上から高さ約4.1m）の3地点で計測した。その後、絞った葉を解いて元に戻し、1回目とほぼ同じ位置である2階の2地点、地上の4地点で計測した。気象庁のアメダスデータ（堺）の平均風速は、1回目（9時～14時）では2.4 m/s、2回目（15時～17時）では3.0 m/sと大きな相違はなかった。境内の全域の様子がわかるように、本堂西側の1地点で計測した（表-1）。ソテツを対象とした計測では、サンプリング角度を水平、垂直方向ともに0.05°に設定した（表-1）。レーザ計測後には、測器に付随するデジタルカメラで計測範囲内のデジタル画像を取得した。計測および以下の解析に制御処理ソフト（Riegl社、RiscanPro）を用いた。

2-3 データ群の座標変換方法

各地点で計測した3Dデータはスキャナの設置位置を原点、スキャナ設置ベクトルの座標系での値をもつ。それゆえ、多地点で計測したデータ群をそのまま合成することはできない。スキャナの設置場所と設置方向を高精度で計測して、各データ群を座標変換してデータ合成することは困難である。そのため、制御処理ソフトは、複数の参照点の位置情報を用いて各地点で計測されたデータ群の座標系を変換する機能をもつ。各計測地点から重複して見通せる場所に高輝度の反射テープを貼り付けた参照体（直径49 mm、高さ52 mmまたは104 mmの円筒形）を設置し、各計測地点で参照体を最小角度ステップ（水平、垂直ともに0.004°）で計測し、半径分をオフセットした参照体の重心（参照点）の相対位置を求める。そして、参照点の位置関係の組み合わせから、測器の設置座標と設置方向を逆算して、各計測データ群をある一つの統一された座標系での値に変換できる。複数個の参照点に公共座標を与えれば、全データを公共座標系での値に変換できる。

本研究では、ソテツ群周辺の地上付近に、ソテツ群中心から放射状に12個、2階などの高所に4個、そして2階から見渡せる境内外の道路などに4個、計20個の参照体を設置した。そして、調査地付近に存在する街区基準点などから6個の参照点の公共座標をトータルステーション（トプコン社、

GPT-1004F）で測量し、全てのデータを公共座標に変換した。この測器の距離精度は、ノンプリズムモードで±10 mm（プリズムモードでは±3 mm+20 ppm以下）である。なお、本堂西での計測時には1個の参照体しか測定できず、自動で座標変換することができなかった。そこで、本堂頂部などの建築物の特徴点を手動で参照点としてマークし、制御処理ソフトで座標変換を行った。

2-4 3Dデータからの立面図作成

制御処理ソフトは任意の視点から任意の方向を見た描画を作成できる。この機能を使用し、視点および方向ベクトルを数値入力し、各樹木の東西および南北面の立面図を作成した。

2-5 最高標高の比較

本研究の対象樹種であるソテツは、幹から放射状に大きな葉を展開し、側方から梢端部を見ることは困難で、測桿を用いて樹高をセンチメートル程度の精度で計測することは困難である。また、地面に傾斜や凹凸がある場合には、地面の基準、測桿の置き場所によって樹高が変化してしまう。そこで、本研究では、3Dデータから算出した樹高と測桿などの他の手法で実測した樹高を比較することはせずに、2回計測した3Dデータから求めた標高を比較して精度を検証した。本研究では、葉を絞り上げた状態と葉を降ろした状態での2回計測した。ただし、他の個体の幹を遮蔽しない高い3個体については、はじめから葉を絞り上げず、常に同じ状態であった。そこで、他のソテツの葉が絞り上げられていた状態（1回目）と、葉を元に戻した状態（2回目）での標高を比較した。ソテツでは梢端部より上部に葉が位置するため、本研究では葉の最高位置のZ座標を最高標高として比較した。なお、1回目の計測データには、葉を絞った状態での地上の8地点、2階の2地点で得られたデータ群を合成して使用し、各個体の上部を切り出し、最高標高から上位50番目までの値を解析に用いた。2回目の計測データには、葉を降ろした状態において2階の2地点、地上の4地点で得られたデータ群を合成して使用し、1回目と同様に上位50個の値を解析に用いた。

3. 結果と考察

3.1 参照点の位置評価

表-1に測器の設置場所ごとのソテツの状態、計測できた参照体の個数、算出された参照点の位置とレーザスキャナで計測した位置との差の標準偏差および最大値を示す。参照点の位置は最小二乗法で求められるため、推定値と計測値との差の標準偏差は2.1 cm以下だった。手動で参照点を作成した3地点（1,10,18番）以外の15地点の差の標準偏差は1.6 cm以下と小さかった。両者の差の最大値は4.9 cmであったが、半数は2.5 cm以下であり、参照点の位置推定が良好に、つまりデータ群の座標変換が良好に行われたことがわかる。本堂西の計測地点（18番）では、1個の参照体しか計測できず、手動で作成した5個の参照点を用いたため両者の差の標準偏

表-1 計測状況と参照点の誤差

Table 1 The status of scannings and the errors of referre points

番号	設置場所	ソテツ群中央ま での距離 (m)	ソテツ状態	解像度 (deg)	参照点				
					計測個数	手動設置個数	公共座標個数	標準偏差 (cm)	最大 (cm)
1	地上ソテツ周辺	9.5	葉紋り	0.05	10	1	1	1.1	4.5
2	地上ソテツ周辺	8.6	葉紋り	0.05	11	0	3	1.3	3.9
3	地上ソテツ周辺	12.2	葉紋り	0.05	7	0	2	1.1	2.8
4	地上ソテツ周辺	8.0	葉紋り	0.05	5	0	0	0.5	-0.7
5	地上ソテツ周辺	6.5	葉紋り	0.05	5	0	0	0.8	-1.5
6	地上ソテツ周辺	7.9	葉紋り	0.05	7	0	0	0.8	-1.2
7	地上ソテツ周辺	7.4	葉紋り	0.05	8	0	0	0.7	-1.3
8	地上ソテツ周辺	7.9	葉紋り	0.05	11	0	1	1.2	4.9
9	2階ソテツ付近	12.3	葉紋り	0.05	5	0	0	0.6	0.9
10	2階ソテツ付近	10.9	葉紋り	0.05	11	3	3	1.3	3.3
11	2階道路側	24.4	—	0.05	8	0	5	1.4	2.6
12	2階ソテツ付近	10.9	葉降ろし	0.05	9	0	3	1.1	2.5
13	2階ソテツ付近	12.3	葉降ろし	0.05	4	0	0	0.6	1.2
14	地上ソテツ周辺	7.8	葉降ろし	0.05	7	0	0	0.7	0.7
15	地上ソテツ周辺	10.1	葉降ろし	0.05	7	0	0	0.7	-1.2
16	地上ソテツ周辺	11.9	葉降ろし	0.05	11	0	3	1.6	4.1
17	地上ソテツ周辺	11.8	葉降ろし	0.05	11	0	2	1.2	3.4
18	本堂西	35.6	—	0.06	1	4	0	2.1	-4.1

差が 2.1 cm と大きかった。この地点以外の標準偏差は 1.6 cm 以下と小さかった。公共座標をもつ参照点が 1~5 個ある計測地点では、両者の差が 1.1~1.6 cm と相対的に大きいのに対し、公共座標をもつ参照点のない計測地点での標準偏差は 0.8 cm 以下と小さかった。参照点の公共座標の値を削除して 17 地点の座標変換をすると、各地点での差の標準偏差は、0.5~1.0 cm に減少した。しかし、公共座標をもつ参照体の測量は基準点から約 100 m 以内で行っており、誤差は 10 mm 以下と考えられ、誤差の主要因はレーザスキャナの結果にあると考えられた。多くの調査地点で公共座標をもつ参照体がない、または 2 個以下と少ないため、最小二乗法で座標変換をするときに、公共座標をもたない参照体データの重みが大きくなり、公共座標をもつ参照体のデータとの整合性が低下したと考えられた。今後は、なるべく多くの調査地点で公共座標をもつ参照体を測定できるようにする必要がある。ただし、今回の測量の誤差は数 cm 程度で小さいと考えられた。

3.2 合成データによる鳥瞰図

図-1 に 18 地点で計測したデータ群にデジタルカメラで撮影した色情報を貼り付け、各地点で計測したデータ群を公共座標系に変換し、すべてのデータ群を合成して作成した鳥瞰図を示す。表-1 より参照点が約 2 cm しかずれていないことから、鳥瞰図の作成が良好にできたことがわかる。

3.3 平面図と立面図

図-2 には、3D データから作成した平面図および玉垣上部の高さである標高 3 m から標高 7 m までの 1 m ごとの水平断面図を示す。3m の高さでは、玉垣の輪郭、地面および地面に置かれた石材の一部が見える。4 m~6 m では幹や支柱、葉の一部が見える。4 m の図の中央上部には、水平に伸びる幹の輪郭が、6 m および 7 m では葉の形状が見え、ソテツの樹幹および葉の高さごとの位置がわかる。

図-3 には、3D データ、トランシットによる根本位置計測、スタッフによる形状の計測と方眼紙へのスケッチで作成（以

下、手測りとする）した立面図¹⁷⁾の一例を示す。なお、手測りによる立面図作成のための測量で南北方位が 12.1°偏向していたため、3D データからの立面図は 12.1°偏向した面で作成した。図 3 では、B 株を北から見た東西面の立面図を示す。両手法で作成した立面図は概ね一致した。株の根本位置から垂直に伸長している幹については両手法による位置のずれが少ない。しかし、根本位置から幹が横方向に伸長している幹では、手測りによる誤差が蓄積して両者の位置のずれが増大し、高さ約 1.3 m で水平に伸長した幹が斜上する水平位置は約 50 cm ずれていた。このような株、幹数の多い個体を対象とした手測りによる立面図の作成には、多大な労力と時間を必要とする。しかし、地上型のレーザスキャナを用いることで、1 日の計測で、図-3 のような詳細な立面図を作成することができ、作業効率が高いことがわかる。

ただし、障害物によって対象物が見通せない場合にはデータを取得できない。それゆえ、図-3 でも、地表面近くなどのデータに欠測がある。また、測器に搭載したデジタルカメラで取得した画像中の色情報をレーザ計測した点群に貼り付けることができ、点群密度が高い場所では、表面のテクスチャ

図-1 妙国寺境内の鳥瞰図

Fig. 1 A bird's eye view of Myokokuji precinct.

一なども表現することが原理的には可能である。しかし、密集した樹木群の根元部分は上部の葉や幹などによって暗いことが多く、テクスチャーを判別できるほどの色情報を得ることができない。それゆえ、幹株の過去の分枝跡などの情報をこの測器で得ることは困難だが、手測りの手法では、このような情報を図面に落とすことができる。

レーザスキャナでは、設置位置に自由度が少なく、全ての幹や葉など形状を表現できるように測量することは不可能だが、おおよそ遮蔽されていない外部形状を正確に計測することができる。一方、手動の計測では、樹幹が根本から曲がっているなどの複雑な3次元形状の場合に誤差が生じることもあるが、レーザスキャナでは計測できない遮蔽された対象物の形状や表面の状態などを詳細に計測・記述することができる²¹⁾。本研究では、両手法による計測を別個に行ったが、今後は、レーザスキャナによる計測を初めに行って外部形状を明らかにし、その後に手動計測をして欠測点やテクスチャーなどの計測・記述することで、より精密な形状および表面状態の正確な計測が可能と考えられる。

図-4に、葉を絞った状態での結果を株毎に色分けしたもの、葉を降ろした状態でのデジカメ画像の色情報を付けた北から見た立面図を示す。このように色分けすると、視点から複数個体の幹や葉が重なって隣接して見える場合でも、株毎の形状を認識できる。しかし、葉群が重なっている場合に色分けをすることは困難であり、今後の手法開発が望まれる。

3.4 個体の最高標高値の検証

表-2には、3個体を対象に2回の計測で切り出した範囲において、最高標高とその差、2回の最高位置間の距離を示す。各計測において各樹冠から切り出した上部の最高標高から上位50点の標高を順番に並べたものが図-5である。2回の最

高標高の差は、1.3 cm 以下、上位50点の平均値の差は1.5 cm 以下と小さかった。各個体の2回の最高位置間の距離は5 cm 以下で、近接の位置を最高点と評価しており、高精度で計測できたことがわかる。

3.5 過去の写真と3Dデータからの描画の比較

図-6には、1970年発行の図説¹⁶⁾に掲載された写真と、その写真を再現するよう3Dデータを用いて作成した現在の画像を示す。図-6bにはカラー合成した点群、図-6cには図4と同様に色分けした描画を示す。カメラのレンズ特性と制御処理ソフトの描画特性が異なるため、図-6(a)は、玉垣の横幅に対する高さの比率が小さく横長の写真であるが、図-6(b)および図-6(c)ではこの比率が大きく、高さが強調される画像であった。図-6では、玉垣の見え方、玉垣右に見える1970年以前から現在まで存在する説明板、中央やや右の灯籠、ソテツ群右に生育する斜上する個体を用いて位置合わせをした。なお、ソテツ群後方の建築物は建て替えられ、ソテツ群左手前に存在したヒラドツツジのような低木、写真の左端に半分のみ写っているカイズカイブキと思われる高木がなくなったことがわかる。ソテツ群については、図-6(a)中央右にやや大きいと考えられる個体(矢印1)が存在するが、現在ではなくなっている、図-6(a)中央の支柱がある個体(矢印3)が現在では大きくなっている、右端の個体(矢印2)が、図-6(a)で

表-2 2回計測した標高値の結果

Table 2 The results of elevation of two measurements

個体名	最高標高値 1回目 (cm)	2回目 (cm)	2回の 標高差 (cm)	上位50点の平 均標高の差 (cm)	最高標高 位置間の距離 (cm)
C	713.3	712.0	1.3	1.1	4.8
E	736.6	735.6	1.0	1.5	1.1
F	609.4	608.7	0.7	0.7	4.6

図-2 ソテツ群の平面図 (a): 平面図、(b): 標高 3 m、(c): 4 m、(d): 5 m、(e): 6 m、(f): 7 m

Fig.2 Plan view of *Cycas revolute*. (a): plan view, (b): 3 m a.s.l., (c): 4 m, (d): 5 m, (e): 6 m., (f): 7 m

は幹が斜上しているが、現在の図-6(b)および図-6(c)では幹がほぼ水平に伸び、その先はほぼ垂直に向きを変えて成長していることがわかる。このように 3D データを用いて樹形の変遷を追うことができる。3D データから作成した画像の描画特性は、カメラのレンズ特性と異なるため、変化量を定量的に求められないが、枯死した個体や枝、撤去された個体など大きく変化したものを抽出できた。

図-3 ソテツ単木の立面図

(a): 3D データから作成、(b): 手動計測

Fig. 3 Elevation view of *Cycas revoluta*.

(a): from 3D data, (b): from manually measurement

図-4 ソテツの立面図

(a): 1 回目の計測、(b): 2 回目の計測

Fig. 4 Elevation view of trees of *Cycas revoluta*.

(a): 1st measurement, (b): 2nd measurement.

図-6 過去の写真と現在の画像

(a): 1970 年頃に撮影された写真¹⁰⁾、(b): 3D データから作成した描画、(c): 3D データから作成し株毎に色分けした描画

Fig. 6 Old photo and present image of trees of *Cycas revoluta*

(a): photo taken around 1970¹⁰⁾, (b): image from 3D data, (c): image with colored trees from 3D data.

図-5 上位 50 点の葉の標高の変化

Fig. 5 Elevation of leaf position of highest 50 data.

座標変換時の誤差の精度で景観の比較をすることができ、レーザスキャナによる文化財としての樹木の形状計測が有効であることが明らかとなった。

本研究を行うに当たっては、妙国寺、NPO おおさか緑と樹木の診断協会および行政関係の方々の協力を得た。記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 土志田正二・千木良雅弘・中村剛 (2007) 航空レーザスキャナを用いた崩壊地形解析：泥火山山体斜面を例として，地形28: 23-39.
- 2) Entwistle, J. A., McCaffrey, K. J. W. and Abrahams, P. W. (2009) Three-dimensional (3D) visualisation: the application of terrestrial laser scanning in the investigation of historical Scottish farming townships. *Journal of Archaeological Science* 36: 860-866.
- 3) 林進・伊藤栄一・岡田正樹・塚本睦・中川一・野平照雄・山口清・横井秀一 (1992) 天然記念物の保護に対する樹木医学的研究 - 岐阜県宮村「臥龍桜」を対象に -，岐阜大農研報，57: 9-26.
- 4) Hetherington, D., Heritage, G. and Milan, D. (2005) Daily fine sediment dynamics on an active Alpine glacier outwash plain. *Sediment Budgets / Proceedings of symposium SI held during the Seventh IAHS Science Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005*: 278-284.

- 5) Holmgren, J. and Persson, A. (2004) Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sensing of Environment* 90: 415-423.
- 6) 池本 三郎; 山岡 好夫 (2007) 全枝葉枯れ大クスノキの治療 神奈川県立青少年センターのクスノキ2003年-2006年の治療結果，樹木医学研究，11(4): 190-191.
- 7) 岩崎義信・大津正英・佐々朋幸 (2001) 久保ザクラ樹勢回復に向けた根圏改良の記録，樹木医学研究，5(2): 85-92.
- 8) 門林理恵子 (2003) レーザースキャナとRTK-GPSを用いた遺跡の3次元計測，情報処理学会研究報告. 人文科学とコンピュータ研究会報告，59: 73-80.
- 9) Király, G. and Brolly, G. (2007) Tree height estimation methods for terrestrial laser scanning in a forest reserve. *IAPRS XXXVI Part3*: 211-215.
- 10) Lambers, K., Eisenbeiss, H., Sauerbier, M., Kupferschmidt, D., Gaisecker, T., Sotoodeh, S., Hanusch, T. (2007) Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru. *Journal of Archaeological Science* 34: 1702-1712.
- 11) Lohani, B. and Mason, D.C. (2001) Application of airborne scanning laser altimetry to the study of tidal channel geomorphology. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*. 56: 100-120.
- 12) Masuda, T., Imazu, S., Auethavekiat, S., Furuya, T., Kawakami, K. and Ikeuchi, K. (2003) Shape difference visualization for ancient bronze mirrors through 3D range images. *J. Visual. Comput. Animat.* 14: 183-196.
- 13) McKeana, J. and Roeringb, J. (2004) Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology* 57: 331-351.
- 14) Nelson, R., Keller, C. and Ratnaswamy, M. (2005) Locating and estimating the extent of Delmarva fox squirrel habitat using an airborne LiDAR profiler. *Remote Sensing of Environment* 96: 292-301.
- 15) 沼田真 (1984) 日本の天然記念物 植物Ⅲ，講談社，186pp.
- 16) 大阪府教育委員会 (1970) 大阪府文化財図説－天然記念物・植物篇一，大阪府教育委員会，31pp.
- 17) 堺市 (2009) 国指定天然記念物 妙国寺のソテツ再生事業に伴う診断調査等業務報告書 (印刷中)
- 18) 白石眞一・上田恒久・前田幸浩・通山雅幸・真武弘延 (2007) 大径古木クロガネモチ *Ilex rotunda* の移植移植後の養生管理，樹木医学研究，11(4): 174-175.
- 19) 戸田健太郎・中村彰宏・前中久行 (2007) 地上型3Dレーザースキャナを用いた男里川河口の微地形計測と潮間帯の冠水特性の評価. ランドスケープ研究，70: 463-466.
- 20) 上田恒久・白石眞一・通山雅幸・真武弘延 (2007) 大径古木クロガネモチ *Ilex rotunda* の移植移植の経緯と経過，樹木医学研究，11(4): 172-173.
- 21) 山田修・高瀬裕・中川武・下田一太 (2003) 三次元レーザースキャナを用いた歴史的建造物のデジタル化における有効性と意義，日本建築学会大会学術講演梗概集，2003年9月: 535-536.

(2009.7.10 受理)