

短 報
Note

# 地上型 3 次元レーザスキャナによる キャンパス内の景観把握とその応用について

國井洋一\*・柳 達弥\*\*・山崎元也\*

(平成 22 年 2 月 24 日受付/平成 22 年 6 月 11 日受理)

要約: 本研究では地上型 3 次元レーザスキャナの景観分野への応用性を追究することを目的とし, 東京農業大学世田谷キャンパスの景観把握を行うとともに, 景観シミュレーションも試みた。すなわち, 地上型 3 次元レーザスキャナによりキャンパス内の建物や植栽に対する 3 次元データの収集を行い, 収集したデータをもとに 3 次元モデルを作成して景観を把握し, データの編集を行うことで景観シミュレーションを行うものである。その結果, 複数の位置から地上型 3 次元レーザスキャナを用いて 3 次元計測を行うことにより, キャンパス内の景観を容易に理解可能な形で表現でき, データの編集や視点移動などによる表現の変更も可能であることが確認された。これにより, 地上型 3 次元レーザスキャナは一定範囲の景観把握に有効であるとともに, 景観シミュレーションのための道具としても有用であるものと考えられる。

キーワード: 地上型 3 次元レーザスキャナ, 計測, 東京農業大学世田谷キャンパス, 景観シミュレーション

## 1. はじめに

近年, 物体の 3 次元形状を高密度な点群データとして取得可能な技術として, レーザ測量が注目されている<sup>1)</sup>。レーザ測量には大別して航空レーザ測量および地上レーザ測量の 2 種類があるが, 特に地上レーザ測量は地上における特定の物体や範囲を対象とする場合に適している<sup>2)</sup>。また, 取得した点群データに対してはそれぞれ空間に対する位置情報, すなわち 3 次元データが得られることから, 得られたデータを視覚的に表現することにより, 計測を行った範囲における任意の位置からの景観を仮想空間上に把握することが可能となる<sup>3)</sup>。

ところで, 大学におけるキャンパス内の景観は, 時代の移り変わりとともに変容を続けている。東京農業大学世田谷キャンパスは, 1946 年に現在の世田谷区桜丘への移転が完了して以来, 敷地内に多くの建物の建築や植栽が行われてきた<sup>4)</sup>。現在は移転から 60 年以上が経過し, 今後は時代の要請に併せた新型設備の導入や建物の改築等を始めとするキャンパス内の環境整備が必要になるものと思われる。そのため, キャンパス内の景観は今後移り変わっていくものと推測されることから, 現況の建物や植栽に対する 3 次元データを取得し, 景観を把握することは必要性が高いと思われる。さらに, 今後の環境整備による景観の移り変わりを模擬的に捉えるためには, 取得した 3 次元データによる景観シミュレーションが有効であると考えられる。

そこで, 本研究では世田谷キャンパス内に地上型 3 次元レーザスキャナ (以下, レーザスキャナ) による地上レーザ測量を実施し, 現況の建物や植栽に対する 3 次元

データを取得した。さらに, 取得したデータの編集による景観シミュレーションも実施し, 地上レーザ測量の景観分野への応用を試みた。

## 2. 対象地について

本研究における地上レーザ測量の対象地には, 図 1 に示す世田谷キャンパス内の一角とした。この対象地には図書館棟や大学本部棟といった学生や教職員の利用頻度が高い建物が含まれており, さらに正門や経堂門といったキャンパスの主な出入口に対する動線でもあるため, キャンパス内においても人の往来が特に多い場所である。また, 対象地にはメタセコイアを始めとする多くの植栽や, ベンチの設置等があり, 学生の憩いの場としての役割も果たしている。これらのことから, 対象地の景観は世田谷キャンパス内においても特に見られる頻度が高いことが伺える。

一方, 対象地内およびその周辺には 1 号館 (1956 年築), 2 号館 (1962 年築), 図書館棟 (1968 年築) 等<sup>4)</sup>, 比較的築年数の長い建物が集中していることから, これらの建物およびその周辺は将来的に環境整備が進む可能性が高いと考えられる。すなわち, 対象地の景観は今後移り変わっていくことが予測されるため, 現在の景観の把握や整備後の状況の予測も必要であると考えられる。

以上より, 本研究では対象地における景観把握を行うために, 現況の建物や植栽に対する 3 次元データを地上レーザ測量にて取得することとした。

## 3. レーザスキャナについて

本研究で使用したレーザスキャナは, 写真 1 に示す RIEGL

\* 東京農業大学地域環境科学部造園科学科

\*\* 東京農業大学地域環境科学部造園科学科 (加勢造園株式会社)



図1 対象地における器械点の配置

社製の“LMS-Z390i”である。本機種は本体中央の開ロ部より秒間約8,000発のレーザーが順次発射されるものであり、発射されている間に開口部のミラーが鉛直方向および水平方向にそれぞれ回転する。それにより、レーザーキャナ周囲の対象物にはレーザーの掃射（スキヤニング）が行われ、スキヤニングされた範囲におけるレーザーの各反射点までの距離は、レーザーの速度と反射到達時間から算出される。さらに、レーザー発射時における水平角と鉛直角もそれぞれ得られるため、それらの情報より各反射点に対する3次元データが算出され、点群データとして取得されることとなる。

一方、本機種の上部には広角レンズを装着したデジタルカメラが搭載されており、レーザーキャナ周囲の画像を撮影することが可能である。そのため、スキヤニングされた範囲とデジタルカメラによる撮影画像とを対応づけることで、上記の3次元データが得られた点群データに対し、撮影画像中の対応画素の色情報を付加することが可能となる。これにより、色情報が付加された点群データを仮想的な3次元空間内に配置することで、スキヤニングした範囲の景観を擬似的に再現することが可能となる。表1に本研究で使用したレーザーキャナの諸元を示す。

#### 4. 3次元データの取得

上記のレーザーキャナを用い、対象地においてレーザー測量を実施することで3次元データの取得を行う。以下に3次元データ取得の手順を示す。

##### (1) 器械点の選点

レーザーキャナによる1回のスキヤニングで計測される範囲は、レーザーキャナの周囲においてレーザーが直接到達できる箇所である。すなわち、樹木や建物の背面や陰などについては計測不可能である。そのため、それらの箇所が計測可能な器械点へレーザーキャナを適宜移動させ、複数

表1 レーザキャナの主な諸元

寸法 (高さ×直径)	463×210(mm)
重量	約15kg
測定距離範囲	1～400(m)
測定精度	±6mm
測定レート	8,000点/秒
測定可能範囲	鉛直:80° 水平:360°
角度分解能	0.001°

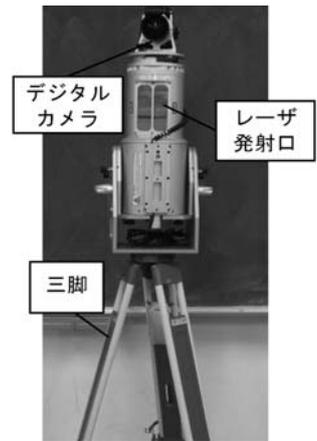


写真1 使用したレーザーキャナ

の器械点にてそれぞれスキヤニングを行う必要がある。また、そのような複数回のスキヤニングにより得られる3次元データは、それぞれ異なる座標系でのデータとなるため、重複して3次元データが取得された箇所を用いて座標系の統合を行う必要がある。そのため、本研究では対象地の全域をくまなく計測するために、オクルージョンが全て補完され、かつ相互のスキヤニングにより重複して計測される箇所が発生するよう器械点の選点を行った。その結果、図1に示した21箇所を選点し、それぞれの器械点にてスキヤニングを行うこととした。

##### (2) 反射マーカの配置

前述のとおり、複数の器械点にて取得した3次元データは、重複箇所の3次元データを用いて統合を行う必要がある。その際、重複箇所においては可能な限り正確なタイポイント抽出することにより高精度なデータ統合を行うことが可能となる。そのため、本研究では各スキヤニングの重複箇所に反射マーカを複数配置し、反射マーカの中心部を各スキヤニングのタイポイントとしてデータ統合に用いることとした。反射マーカは、表面がレーザーの受光強度の高い素材で作られているため、スキヤニング後のデータ上において、明確に認識することが可能である。本研究では計30個の反射マーカを対象地内に配置し、各スキヤニングに対するタイポイントとして用いた。なお、隣接するスキヤニングに対するタイポイント数は、理論上4点以上が必要である。本研究では統合後の3次元データの精度を確保するために、最低6個以上の反射マーカがタイポイントとして用いられるよう配置を行った。写真2に反射マーカを配置した対象地を示す。

##### (3) スキヤニング

各器械点にレーザーキャナを据え付け、順次スキヤニングを行う。本研究におけるスキヤニング設定は計測時間や計測後のデータ容量等を総合的に考慮し、計測範囲は鉛直方向80°、水平方向360°、角度分解能は鉛直、水平方向ともに0.120°とした。これにより、1回のスキヤニングでは



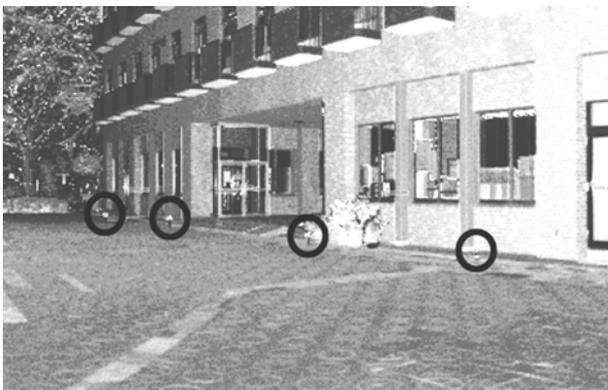
※黒丸部分が反射マーカ-

写真 2 対象地における反射マーカ-



弱 ← 受光強度 → 強

図 2 受光強度画像



※黒丸部分が反射マーカ-

図 3 受光強度画像における反射マーカ-

約 200 万点の点群データが約 4 分で得られることとなる。図 2 は大学本部棟付近におけるスキャニング時の受光強度を色の濃淡で示したものである。

つぎに、スキャニングにより得られた 3 次元データより反射マーカ-の位置を特定し、特定された反射マーカ-のみに対してさらに詳細なスキャニングを行う。図 3 に受光強度画像上にて特定された反射マーカ-を示す。なお、反射マーカ-は常設が不可能であるため、異なる日におけるスキャニング間に対してはタイポイントとしての利用が不可能となる。そのような場合は、建物の角などといった目視で容易に認識可能かつ不動な点をタイポイントとして利用することとなる。

#### (4) 画像取得

スキャニング終了後、レーザスキャナ上部のデジタルカメラにより周囲の画像撮影を行う。ここでの画像撮影は、スキャニングにより 3 次元データが得られた各点に対し、色情報を付加するために行われるものである。したがって、3 次元データと画像情報との対応付けが必要となるため、カメラの位置および姿勢やレンズ歪みといった情報は、カメラキャリブレーション<sup>5)</sup>によりあらかじめ取得されている状態である。撮影処理においては、水平方向 360°のスキャニング範囲に対するすべての色情報を取得する必要があるため、レーザスキャナを水平方向に回転させながら、計 7 枚の画像が連続的に取得されることとなる。図 4 に色情報を付加する前後における 3 次元データを示す。

### 5. 3次元データの処理

以上の作業により取得した器械点毎の 3 次元データに対し、不要点の除去等によるデータの軽量化を行った後、タイポイントを用いて座標系を統合する処理を行う。以下に各手順を示す。

#### (1) 低優先度データの削除

各器械点ではそれぞれ約 200 万点の点群に対する 3 次元データが得られるため、データの統合を行うことによりさらにデータ容量が膨大になることが予測される。そのため、ここでは得られた 3 次元データより、景観シミュレーションにおいては必要性の低い点のデータを低優先度データとし、低優先度データを削除する処理を行う。本研究において低優先度データと判断されるものは、人や自動車といった移動体や、道路や対象地外にある遠方の建物等である。

図 5 に低優先度データの削除例を示す。

#### (2) 3次元データの統合

各器械点におけるスキャニングにより取得された未処理の 3 次元データは、各器械点をそれぞれ原点とする個別の座標系となっている。そのため、各スキャニングにおいて設定したタイポイントを使用し、座標系の統合を行うこととする。図 6 に示すタイポイント A に対し、器械点①、②における各スキャニングにより得られた 3 次元データをそれぞれ  $(X_{a1}, Y_{a1}, Z_{a1})$ ,  $(X_{a2}, Y_{a2}, Z_{a2})$  とした場合、両者の関係は式 (1) にて表される<sup>6)</sup>。

$$\begin{pmatrix} X_{a1} \\ Y_{a1} \\ Z_{a1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{a2} \\ Y_{a2} \\ Z_{a2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$a_{11} = \cos\varphi\cos\kappa, a_{12} = -\cos\varphi\sin\kappa, a_{13} = \sin\varphi$$

$$a_{21} = \cos\omega\sin\kappa + \sin\omega\sin\varphi\cos\kappa,$$

$$a_{22} = \cos\omega\cos\kappa - \sin\omega\sin\varphi\sin\kappa,$$

$$a_{23} = \sin\omega\cos\varphi, a_{31} = \sin\omega\sin\kappa - \cos\omega\sin\varphi\cos\kappa,$$

$$a_{32} = \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\varphi\sin\kappa, a_{33} = \cos\omega\cos\varphi$$

$$M_x, M_y, M_z : \textcircled{2} \text{ から } \textcircled{1} \text{ までの原点平行移動量}$$

$$\omega, \varphi, \kappa : \textcircled{2} \text{ におけるレーザースキャナの傾き角}$$



(a) 着色前 (b) 着色後

図4 3次元データへの色情報の付加



(a) データ削除前 (b) データ削除後

※白枠部分がデータ削除箇所

図5 低優先度データの削除

ここで、 $\omega, \varphi, \kappa$  はそれぞれ  $x, y, z$  軸に対する傾き角であるが、本研究で用いたレーザスキャナには自動水平調整機能が搭載されているため、 $\omega$  と  $\varphi$  についてはいずれも 0 で一定となる。そのため、式(1)における未知量は  $\kappa, M_x, M_y, M_z$  の4個となる。また、式(1)は1点のタイポイントにつき1個得られることから、4点以上のタイポイントが得られれば未知量の個数以上の式が得られ、未知量がすべて算出されることとなる。これにより、器械点②において得られた任意の点の3次元データを式(1)中の  $X_{a2}, Y_{a2}, Z_{a2}$  へそれぞれ代入することにより、器械点①の座標  $X_{a1}, Y_{a1}, Z_{a1}$  として変換されることとなるため、すべての点の3次元データを変換することにより座標系の統合が完了する。なお、統合による各タイポイントの座標は最小二乗法により最確値として得られるため、発生する残差にもとづいて各タイポイントに誤差が配分されることとなる。

以上の処理を繰り返し行うことにより、全21箇所の器械点におけるスキャニングの3次元データをすべて統合した。図7に統合後のデータに対する平面図ならびに各視点からの3次元モデルを示す。

## 6. 景観シミュレーションへの応用

以上の処理により作成された3次元モデルは点群データの集合であるため、個別の点に対する削除を行うことができる。それにより、特定の建物や植栽等を消去することが可能となるため、キャンパス内の環境整備による景観シミュレーションが可能となる。景観シミュレーションの例として、ここでは図書館棟を消去した場合の景観シミュレーションを試みることにする。図8は図書館棟の消去前後における、それぞれの視点から見た3次元モデルである。視点①から見ると、図書館棟が消去されていることが一目で判断できることがわかる。また、視点②から見た場合、中庭からグラウンドまでの視通が可能になったことが

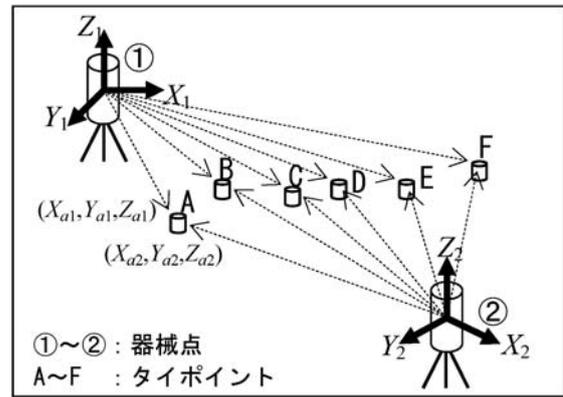


図6 タイポイントによる座標系の統合

確認できる。このように、3次元点群データは景観を任意の状態に編集することが可能であり、さらに3次元モデルにて表現することにより状況を容易に理解することが可能となる。以上より、レーザスキャナによる3次元データ取得は、景観シミュレーションのための手法として効果的であるものと推測される。

## 7. おわりに

本研究ではレーザスキャナの景観分野への応用性を追求するために、東京農業大学世田谷キャンパスを対象地として、レーザスキャナによる3次元データの取得を行い、取得した3次元データからの3次元モデルの作成ならびに景観シミュレーション例の提示についても試みた。その結果、レーザスキャナの利用により、対象地の3次元データは点群データとして迅速に得られることが確認され、さらに複数の器械点から計測を行うことで、より広範囲に対する3次元データの取得も可能であった。また、取得した3次元データを用いての3次元モデルの作成や、景観シミュレーションの可能性についても確認された。以上より、レーザスキャナは対象地の景観把握ならびに景観シミュレーションに対して有用であるといえ、都市公園、自然公園、庭園等、多くの造園空間に対する応用が期待される。

一方、課題としてはレーザスキャナで得られる点群データの容量が膨大となることがあげられる。そのため、今後は点から面データへの変換方法や、不要データの効率的削除法等について検討が必要であると考えられる。

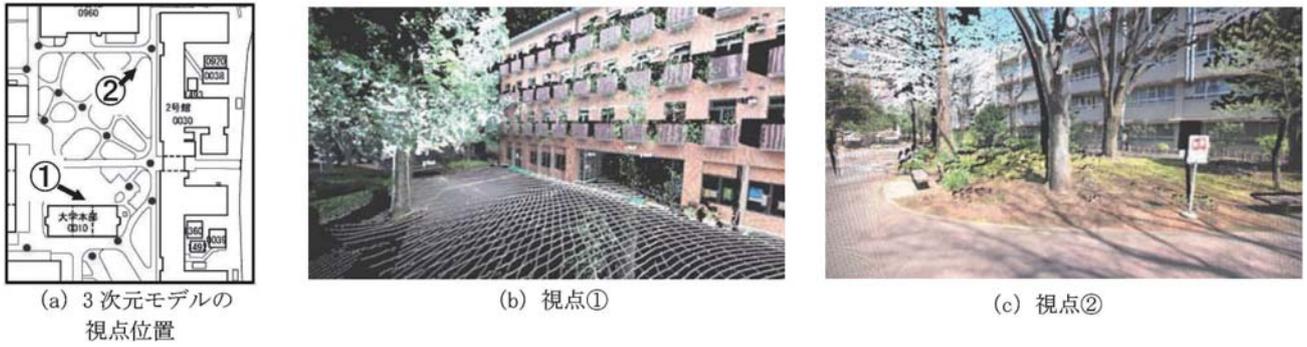


図 7 統合後の 3 次元モデル

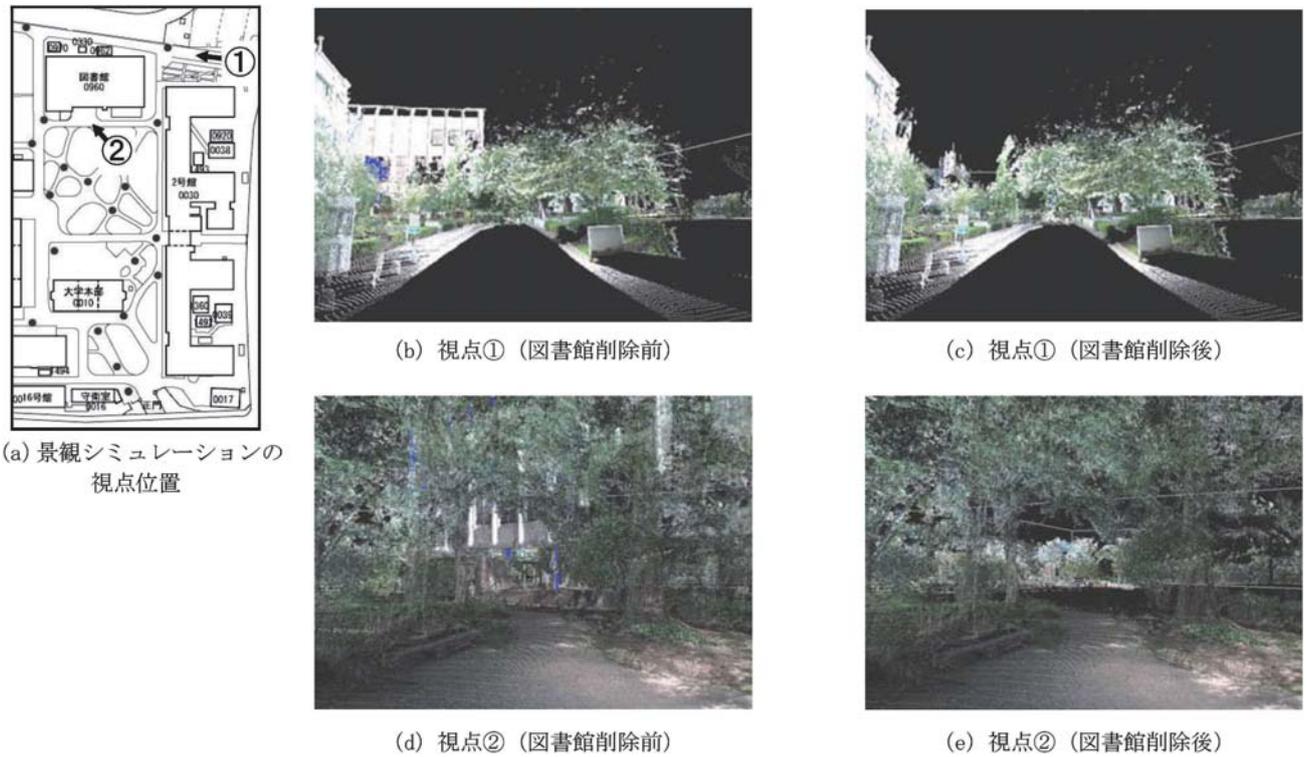


図 8 景観シミュレーション例

参考文献

- 1) 日本写真測量学会, 動体計測研究会 編, 2004. デジタル写真測量の理論と実践, 日本測量協会, 151-163.
- 2) 戸田健太郎, 中村彰宏, 大藪崇司, 前中久行, 2009. 地上型レーザスキャナを用いた 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.
- 3) 内田祐輔, 小杉 信, 向井信彦, 2007. 二次元地図とレーザスキャナデータを用いた河川の景観再現, 映像情報メディア学会技術報告, 31 (20), 5-8.
- 4) 東京農業大学創立百周年記念事業実行委員会第二部会, 1993. 東京農業大学百年史, 東京農業大学, 251, 280-283.
- 5) 解析写真測量委員会 編, 1983. 解析写真測量, 日本写真測量学会, 46-56.
- 6) Schenk, T., 2001. Digital Photogrammetry, TerraScience, Ohio, 315-412.

# Grasping of Landscape in Campus by using Terrestrial Laser Scanner and its Application

By

Yoichi KUNII\*, Tatsuya YANAGI\*\* and Motoya YAMASAKI\*

(Received February 24, 2010/Accepted June 11, 2010)

**Summary** : In order to investigate the application of the terrestrial laser scanner to a landscape field, the Landscape of Setagaya campus of Tokyo University of Agriculture was chosen, and landscape simulation was attempted in this paper. 3D data for some buildings or plants in the campus were acquired by using the terrestrial laser scanner, and 3D modeling for such objects was performed. Moreover, landscape simulation was attempted by editing the 3D model. As a result, easy understanding of the landscape in the campus became possible by 3D measurement using terrestrial laser scanner at multiple positions, and change of expression by editing of data or movement of view point were also possible. Consequently, it can be said the terrestrial laser scanner is a useful tool for some landscape fields.

**Key words** : Terrestrial Laser Scanner, Measurement, Setagaya Campus of Tokyo University of Agriculture, Landscape Simulation

---

\* Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

\*\* Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture (Kase Zoen Co., Ltd)