

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月10日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580270

研究課題名（和文） 3次元ライダーによる農業水利施設の機能モニタリング

研究課題名（英文） Monitoring of functions of agricultural water use facilities using a 3-D lidar

研究代表者

細井 文樹（HOSOI FUMIKI）

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：80526468

研究成果の概要（和文）：本研究では、可搬型3次元ライダーを用い、ため池の3次元構造計測を行い、そのデータをもとにため池の3次元モデルを作成し、そのモデルがため池の現況構造把握に有効であることを明らかにした。得られた3次元モデルから、ため池の水位毎の貯水量推定を行い、正確な貯水量推定が可能であることを明らかにした。さらに、ため池がある郊外エリアでの無線機器による貯水量遠隔モニタリングの検証を行い、モニタリングのための基礎的知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：In this research, 3-D structure of a farm pond was measured by a portable scanning lidar. Based on the lidar-derived data, a 3-D model of a farm pond was produced and it was confirmed that the model could be utilized for diagnosis of the present status of a farm pond. From the obtained 3-D model, the water storage was estimated in each water level. The estimation result showed that water storage of a farm pond could be estimated accurately using the lidar-derived 3-D model. In a rural area in which farm ponds existed, experiments of remote monitoring for water level observation were conducted using wireless network systems and basic knowledge about the remote monitoring could be obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：測地、モニタリング、リモートセンシング、情報工学

## 1. 研究開始当初の背景

我が国でこれまでに造成された農業水利施設は、安定的な農業生産を支える重要な社会基盤を形成している。近年、地理情報システム(GIS)やインターネットなどのICT技術を

活用し、それら施設の様々な情報をデータベース化し、その情報を既存施設の適切かつ効率的な維持・管理に利用しようという動きが活発化している（中、農業土木学会材料施工研究部会報、2004；加藤、水土の知、2008）。

一方、農業水利施設は農業生産という機能以外に、地域防災や景観・生態系などの環境維持、親水空間の提供等、多面的な役割を果たしている。この多面的機能を評価する上でも、既存施設に関する情報が必要となる。例えば全国に 22 万個あるともいわれているため池については、農業用水源として重要であるとともに、下流域の河川や水路における洪水時のピーク水位・流量を低減させ、洪水を軽減する効果がある（大西、農業農村工学分野における情報化、農業農村工学会農業農村情報研究部会編、2008）。このように、農業水利施設の維持・管理や多面的効果の評価を適切かつ正確に行うためには、それら既存施設の正確な情報を取得することが重要となる。施設の寸法や広さ、容積といった構造に関する情報は最も基本的な情報である。これらのデータの取得には、施設的设计図面や国土地理院から公開されている数値地図、農業用水施設台帳などが利用可能である。しかし、こうした資料は設計当初の構造や大まかな構造の情報は与えるが、施設の現況構造についての詳しい情報は与えない。特にコンクリート補修のなされていない小規模水利施設や老朽化の進んだ施設では、その現況構造の正確な把握は困難である。施設の現況構造を得るためには、測量を行う必要があるが、労力や費用の問題から、現状の測量方法によってすべての施設をカバーすることは難しい。

近年、対象物の現況構造を効率よく正確に計測し、3次元データとして記録可能な3次元ライダー(LiDAR: Light Detection And Ranging)が都市構造物や遺跡、文化財の調査や植物群落の構造計測等の分野で用いられるようになってきた(Mass and Vosselman, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 1999; Lefsky et al., Bioscience, 2002; Omasa et al., J. Exp. Bot., 2007; Hosoi et al., J. Exp. Bot., 2007)。3次元ライダーでは、レーザービームを対象に向けてスキャン照射し、その反射光を受信することにより、対象の形状を3次元点群画像データとして正確に記録することができる。得られた画像データから、対象物の現況を正確に確認することができ、また、対象の寸法や面積、体積などを算出し、定量的な構造解析を行うことも可能である。データ取得は自動的に短時間で行えるため、計測にかかる労力は小さく、さらに対象の規模によって、航空機搭載型や可搬型といったタイプの使い分けも可能である。こうした3次元ライダーの特徴は、農業水利施設の現況構造データ取得にも有用であると考えられるが、今までこの分野に

3次元ライダーはほとんど用いられてこなかった。そこで申請者らは、可搬型3次元ライダーを用い、排水樋門や複雑な形状を有する小規模水路などの農業水利施設の構造計測を行った(大政ら、ARIC 情報、2007)。得られたデータは、施設の現況構造を正確に反映しており、その状態を視覚的に確認することができ、長さや高さなどの寸法も高い精度で現況と一致していた。この研究は3次元ライダーの農業水利施設の現況構造計測における有用性を示すものであるが、さらに得られたライダーデータから施設の貯水量や流量及びそれらの時間的変化といった、施設の機能に関する正確な情報を引き出せれば、3次元ライダーの有用性はより一層高まる。本申請は、このような観点から着想するに至った。

## 2. 研究の目的

本研究はため池を対象とし、以下の3点を目的とする。

- (1) 可搬型3次元ライダー計測データから3次元モデルを作成し、そのモデルがため池の現況構造把握に利用可能かどうかを明らかにする。
- (2) 作成された3次元モデルをもとに、正確な貯水量算出が可能かどうかを明らかにする。
- (3) ネットワークカメラ等を用い、遠隔水位モニタリングの可能性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

- (1) 可搬型3次元ライダー計測と3次元モデルの作成

水抜きを行ったため池に対し、その周囲を取り囲む複数の位置から、可搬型3次元ライダーの計測を行う(図1)。得られた3次元点群データは、それぞれが独立した座標系をもっているため、一つの共通座標系になるようレジストレーション(位置合わせ)を行う。得られたため池の3次元点群データの視認性をあげ、解析をよりしやすくするために、点群データの各点を三角形で結んでメッシュ化し、サーフェスを生成するポリゴン化処理を施す。作成されたモデルを精査し、かつスケールなどを用いた実測との比較を行い、ため池の現況構造把握に有用か否か、確認を行う。

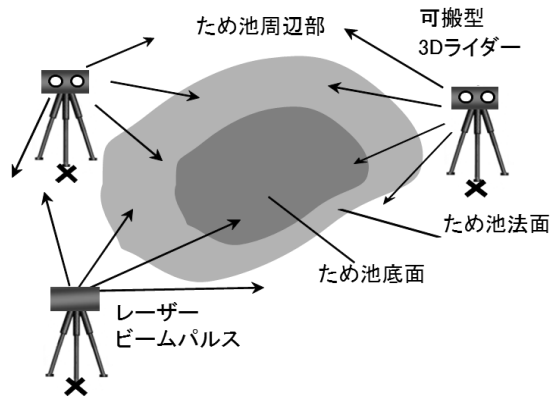


図1 可搬型3次元ライダーによるため池の計測（細井ら、水土の知、2011より引用）

## (2) 3次元モデルに基づく貯水量算出プログラムの作成と貯水量の算出

(1)で作成されたため池の3次元モデルに対し、ある水位の仮想水面を設定する。この状態でため池各部の水平断面を抽出し、それぞれの水平断面に占める水の面積を計算し、それを水平方向に積算することで、水の体積、すなわち貯水量を計算する。この計算法に基づき、任意の水位に対して貯水量を計算するプログラムを作成する。ここから得られた貯水量算出結果の妥当性を検討する。

## (3) ネットワークカメラによるため池の遠隔水位計測の実施

ため池近傍にネットワークカメラを設置し、ため池に設置された水位標の値を定期的に遠隔観測することで、水位の時間的変化のモニタリングを行う。実際のため池が存在する郊外のエリアにて、無線ブロードバンドに対応したネットワーク機器を設置し、無線による機器の遠隔操作、データ取得の検証を行い、その問題点の把握やデータ取得のノウハウを確立していく。その際、新たな無線ブロードバンド規格であるWiMAX、LTEといった方式を積極的に導入し、画像データなどの大容量のデータを送受信できるよう検討を進める。ただし、郊外エリアはこのような最新の無線通信規格の圏外になっていることも多いため、従来の3G回線やWi-Fiネットワークをシームレスに切り替え可能なものとし、モニタリングシステムの適用範囲を広げる検討も行う。

## 4. 研究成果

### (1) ため池の3次元モデル作成結果

兵庫県のため池を対象とし、可搬型3次元ラ

イダーによる計測を行った。面積は約1260m<sup>2</sup>、水深は最深部で約3mである。可搬型3次元ライダーは、測定距離2～60m、距離精度±8mmのTime of Flight法を測距原理とするタイプであった。計測の際、ため池の水抜きを行い、底面が完全に露出する状態にした。可搬型3次元ライダーによる計測の後、ポリゴン化して得られたため池の3次元モデルを図2に示す。図2(a)に示すように、本方法によりため池部とその周辺の樹林、堤体、水田が、その表面状態とともに極めて高精細に3次元画像として再現されていることがわかる。また、樹林に覆われた地表面は通常、計測困難であるが、レーザービームが樹林を通り抜けて地表に到達した点を抽出することにより、図1(b)に示すように、地表面も再現することができた。ため池の周囲はしばしば植生に覆われているが、そのような状況でも本方法により、ため池本体とその周辺の形状の現況把握が可能であることが示された。また、ため池周辺の水田のイネについても、可搬型3次元ライダーで計測を行い、そのデータをもとに、イネの成育ステージ毎の構造情報が取得可能であることも併せて示された（Hosoi and Omasa, Eco-engineering, 2011, 他）。取水樋近傍とため池への流れ込みの拡大画像が図2(c)(d)である。取水樋に向かって窪地が形成されていること及び流れ込みに沿った濡筋や、周囲に堆積した土壌が正確にモデルとして再現されていることが分かる。スケールを用い、ため池各部の寸法を実測し、3次元モデルから得られる値と比較した。その結果、誤差は、平均で30mm、最大で63mmと高い精度でモデリングされていることが確認された。ここで得られた最初のモデリング結果をもとに、モデルの精緻化とモデル作成の効率化を検討した。可搬型3次元ライダーの計測地点の数やライダーからため池までの距離によって、得られるため池の3次元点群データの密度が異なっていたため、3次元モデリング時に行うポリゴン化処理時にポリゴンの数を増やし、その後のスムージング処理においてより滑らかな3次元曲面が形成されるようにし、実際の地形をさらに忠実に再現できるようにした。ただし、やたらとポリゴン数を増やすとメモリの負担や計算時間の点で問題となるため、ポリゴン化処理時のポリゴン数の最適化を行い、滑らかな3次元曲面の形成と同時にメモリの負担を抑え、画像処理をすみかに行えるよう配慮した。これにより、モデルの精緻化とモデル作成の効率化の両面を達成した。また、計測効率の向上についても考慮し、可搬型3次元ライダーの計測地点の数の最適化を図った。

本研究結果が示すように、可搬型3次元ライダーによるため池の3次元形状計測データから3

次元モデルを作成することにより、ため池の現況形状を正確にかつ効率よく把握することが可能であることが明らかとなった。また、ため池周辺にある水田のイネなどの農作物の成育状態も、併せて3次元ライダーで計測可能であることが明らかになった。これは研究当初は想定していなかった成果であり、ため池周辺の農作物の情報を取得できることを意味するため、ため池の多面的機能を評価する上で有益な研究成果が得られたと考えられる。

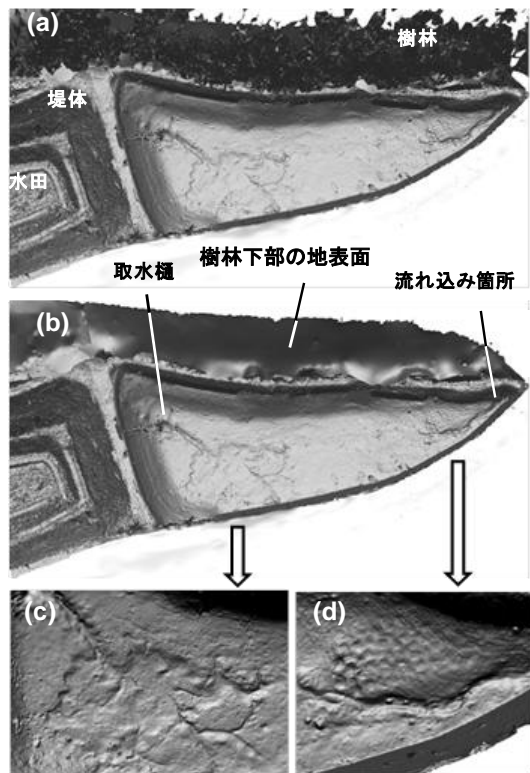


図2 ため池の3次元モデル  
(a) 樹林も含めたモデル (b) 樹林を分離した3次元モデル (c) 拡大図1 (d) 拡大図2  
(細井ら、水土の知、2011より引用)

## (2) 貯水量算出結果

ポリゴン化後のため池の3次元モデルをもとに、貯水量の算出を試みた。図3は水位の異なる仮想水面の状態を表した3次元モデルである。水位0.2mでは窪みの部分に、水位2.6mでは池全体に水が行きわたっていることがわかる。水位毎に算出した貯水量を図4に示す。ここで、3次元モデルの寸法誤差が10cm以内であることから、水位が±10cmずれた場合ほどの程度貯水量が変動するかを計算し、エラーバーで表示した。エラーバーの幅から、高い精度で貯水量算出が可能であることが確認することができた。この方法では任意の水位の貯水量が算出でき、その結果、対象としたため池の貯水

量は水位1m、2m、3mでそれぞれ445m<sup>3</sup>、

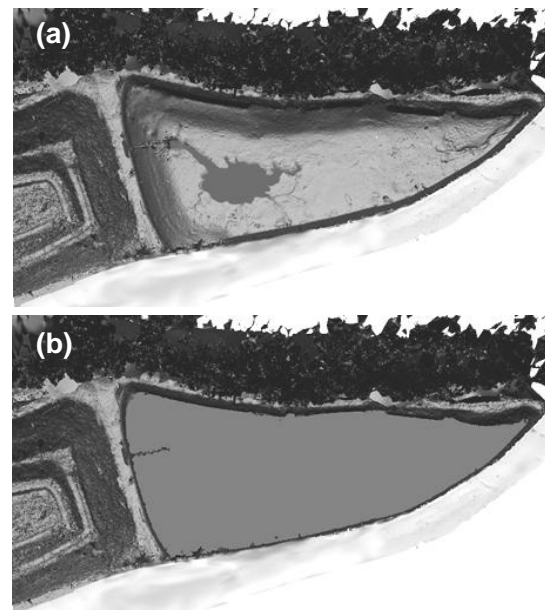


図3 作成された仮想水面とため池の3次元モデル (a) 水位0.2 m (b) 水位 2.6 m (細井ら、水土の知、2011より引用)

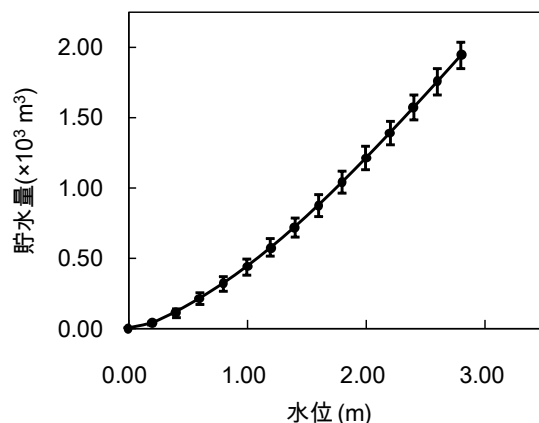


図4 ため池の3次元モデルから推定した水位毎の貯水量 (細井ら、水土の知、2011より引用)

1216m<sup>3</sup>、2141m<sup>3</sup>であった。さらに 本方法の改良として、貯水量の算出プログラムの離散化誤差の影響を少なくするため、実際のライダーのスキャン間隔とデータの点群間隔を精査し、計算速度、計算機のメモリ量、離散化による誤差がバランスする離散化条件を見出した。本研究の対象のような自然の地形を残したため池は複雑な起伏や形状を持っており、その貯水量を正確に算出することは従来困難であったが、可搬型3次元ライダーの計測によって、その複雑な形状を～数cmオーダーの精度で計測、モデル化でき、これをもとに貯水量を正確

に推定することが可能であることが示された。

(3) ネットワークカメラ等を用いた遠隔水位モニタリング

3G及びモバイルWiMAX方式のWi-Fiモバイルルーターに加え、スマートフォンに搭載されたLTEテザリング方式を用い、ネットワーク機器によるデータ通信の検証実験をため池近傍の郊外エリアで行った。この実験により、データ量の大きい画像信号の送受信にはWiMaxやLTEなどのブロードバンド回線、機器の遠隔操作信号の送受信では3G等の広域カバー回線が適していることがわかった。これらの回線は場所によってカバーエリアが異なるため、カバーエリアごとの回線選択も極めて重要であることが明らかになった。また、光ファイバが網羅しているエリアでは、有線機器にWi-Fiなどの無線LAN機器をリンクさせる方法もデータ送受信に有効であることが明らかになった。本研究期間内では、上述したような最適無線方式の検討に時間を要したため、実際にネットワークカメラを長期間稼働させて水位モニタリングを行うまでには至らなかったものの、通信環境が良好ではないエリアでの無線遠隔水位モニタリング実施の基礎的知見を得ることができ、今後の応用への布石とすることができた。

#### 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5件)

- ① 細井 文樹, スキャニングライダーを用いたボクセル法による樹木及び作物の垂直構造の計測, 生態工学, 査読無, 25巻, 2013, 29-33.  
DOI:10.11450/seitaikogaku.25.29
- ② F. Hosoi, K. Omasa. Estimation of vertical plant area density profiles in a rice canopy at different growth stages by high resolution portable scanning lidar with a lightweight mirror. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 査読有, 74巻, 2012, 11~19.  
DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.08.001
- ③ F. Hosoi, K. Omasa. Measurements of vertical plant area density profiles of a rice plant using a portable scanning lidar. Eco-Engineering, 査読有, 24巻, 2011, 21~25.  
DOI:10.11450/seitaikogaku.24.21

- ④ F. Hosoi, K. Nakabayashi, K. Omasa. 3-D modeling of Tomato Canopy for Extracting the Structural Information Using a High-Resolution Portable Scanning Lidar. Sensors, 査読有, 10巻, 2011, 2167~2174. DOI:10.3390/s110202166
- ⑤ 細井 文樹, 日坂 彰, 大西 亮一, 大政 謙次. 可搬型ライダーによるため池の3Dモデリングと貯水量推定, 水土の知, 査読有, 79巻, 2011, 191-194.  
<http://www.jsidre.or.jp/publ/jrnal/contents/79/Naiyo79-3.pdf>  
(ただし要約のみ)

[学会発表] (計7件)

- ① 細井文樹, LIDARを用いた植物の3次元構造計測, 精密工学会(招待講演), 2013年03月13日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京).
- ② 細井文樹, 森林の垂直構造(LAD)の計測と解析, 日本生態学会(招待講演), 2013年03月06日, 静岡県コンベンションアーツセンター(静岡).
- ③ 細井 文樹, スキャニングライダーを用いたボクセル法による樹木及び作物群落の垂直構造の計測, 生態工学会(招待講演), 2012年06月16日, 北里大学獣医学部(青森).
- ④ 細井文樹, 大政謙次. 可搬型スキャニングライダーを用いたイネの植物面積密度の推定, 農業情報学会, 2012年05月16日, 東京大学弥生講堂(東京).
- ⑤ 細井 文樹, 日坂 彰, 大西 亮一, 大政 謙次. 可搬型3Dライダー計測によるため池の3Dモデリングと貯水量の推定, 農業農村工学会, 2011年9月8日, 九州大学箱崎キャンパス.
- ⑥ 細井 文樹, 日坂 彰, 大西 亮一, 大政 謙次. ライダー計測によるため池の3Dモデリング, 生態工学会, 2011年6月16日, JAXA調布航空宇宙センター.
- ⑦ 日坂 彰, 細井 文樹, 大西 亮一, 大政 謙次. 可搬型ライダーデータを用いたため池の3次元モデリングと貯水量の推定, 農業情報学会, 2010年5月12日, 弥生講堂(東京).

[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  
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細井 文樹 (HOSOI FUMIKI)  
東京大学・大学院農学生命科学研究科・  
准教授  
研究者番号：80526468

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし