

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

3-D Modeling of a Farm Pond and Estimation of its Water Storage Using a Portable LiDAR

細井文樹[†]
(Hosoi Fumiki)日坂 彰[†]
(NISSAKA Akira)大西亮一^{††}
(OHNISHI Ryouichi)大政謙次[†]
(OMASA Kenji)

I. はじめに

全国に21万個あるともいわれているため池は、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ため、重要な社会基盤を形成している¹⁾。ため池の維持・管理や多面的機能の評価を適切かつ正確に行うためには、ため池に関する正確な情報を取得することが重要となる。このうち、ため池の寸法や広さ、深さなどの形状に関する情報は最も基本的な情報である。しかしため池の多くは自然地形を残し、コンクリートによる整備も十分にされていないものも多く、形状が複雑なため、その現況形状を正確に計測することは今まで困難であった。

近年、レーザービームパルスをスキャン照射し、反射して戻ってくるパルスを受信して対象までの距離を算出し、対象の3次元(3D: Three Dimensional)形状を計測できる3Dライダー(LiDAR: Light Detection And Ranging)が広く利用されるようになってきた^{2),3)}。このうち、可搬型3Dライダーは、自由に持ち運べる利便性と、高い空間分解能・精度を有し、人工物だけでなく、植物の3D精密計測など、幅広い分野で利用されつつある^{3)~5)}。この装置は複雑な形状の農業水利施設でも、その形状計測に有効であることが報告されている^{4),5)}。そのため、複雑な形状を有するため池の現況形状の精密計測にも応用できるものと考えられる。

そこで本報では、可搬型3Dライダーによるため池の形状計測を行い、そのデータをもとにため池の3Dモデルを作成し、そのモデルによる現況形状把握の有効性について検証を行った。さらに得られたため池の3Dモデルから、水位ごとの貯水量の推定も行った。これらの方法と結果について報告する。

II. 可搬型3Dライダー計測によるため池の3Dモデリング

可搬型3Dライダーによるため池の計測から3Dモデリングまでのフローを図-1に示す。

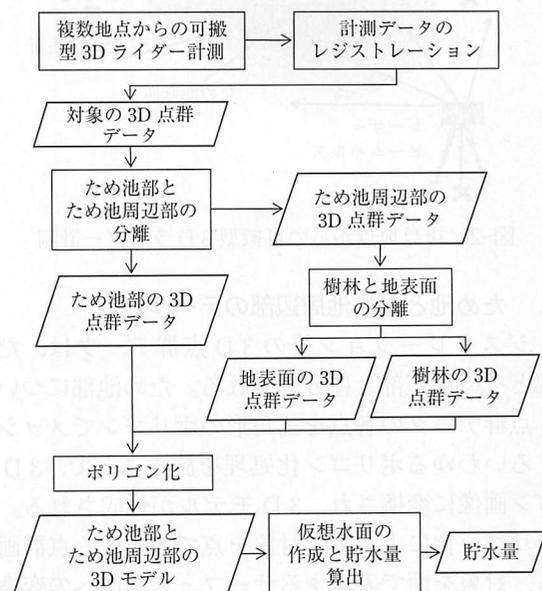


図-1 ため池3Dモデリングフローチャート

1. 可搬型3Dライダーによる計測

可搬型3Dライダーはレーザースキャナー、3Dスキャナー、レンジスキャナーなどとも呼ばれる。市販の可搬型3Dライダーの多くはTime of Flight法(スキャン照射したレーザービームパルスが対象から反射して戻ってくる時間を計測することで対象までの距離を算出する方式)を採用したタイプが多い。性能例をあげると、計測距離2~1,000m、距離精度5~10mm、計測点数8,000~12,000点/秒、ラインスキャン速度1~20スキャン/秒といったところである。実際の可搬型3Dライダーによるため池の計測では、図-2に示すように、水抜きされたため池を取り囲む複数の地点から計測を行い、スキャン漏れののないよう

[†]東京大学大学院農学生命科学研究科^{††}元(独)農業工学研究所

可搬型3Dライダー、ため池、貯水量、3Dモデリング、農業水利施設

配慮する。その際、ため池だけでなく、ため池周辺の領域も含まれるように計測を行う。複数地点から得られた3Dデータはそれぞれ独立した座標系を持っているため、共通の座標系を有するよう、レジストレーション（位置合せ）される。可搬型3Dライダーの計測と併せ、ライダーの計測ポジションの絶対位置（緯度、経度）をGPSによって計測した場合、レジストレーション後の3Dデータを必要に応じてGIS（地理情報システム）に取り込んで解析することも可能となる⁵⁾。

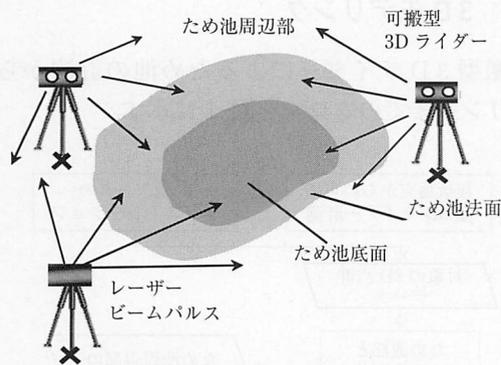


図-2 複数地点からの可搬型3Dライダー計測

2. ため池とため池周辺部のデータ処理

レジストレーション後の3D点群データは、ため池部とその周辺部とに分離される。ため池部については、点群データの各点を三角形のポリゴンでメッシュ化するいわゆるポリゴン化処理を施すことで、3Dポリゴン画像に変換され、3Dモデルが作成される。このポリゴン化によって、対象を点で表現する点群画像から、対象を面で表現するサーフェス画像への変換がなされ、対象の表面状態などの詳細な現況把握が行えるようになる。ため池周辺部については、そこが樹林に覆われている場合、その3D点群データには樹林だけでなく、その下の地表面の情報も含まれている。これは、3Dライダーのレーザービームパルスが樹林だけでなく、その下の地表面にも到達するためである。地表面に相当するデータは樹林のデータよりも高さの低い部分に分布するため、この高さ分布の違いを利用して、地表面の点群データのみを樹林から分離することができる。分離された樹林と地表面に相当する3D点群データは、ため池部同様にポリゴン化処理により3Dポリゴン画像に変換され、3Dモデルが作成される。

3. 貯水量の推定

ため池の貯水量推定に当たっては、作成されたため池の3Dモデルに対し、図-3 (a) に示すように、ある水位の仮想水面を作成する。この状態でため池各部

から微少な厚みを持った垂直断面を抽出する。次に、図-3 (b) のように垂直断面の水に相当する部分を微少幅の矩形で分割し、それら矩形の面積を足し合わせて垂直断面に占める水の部分の面積を計算する。この水の面積に垂直断面の厚みを乗じると、垂直断面に占める水の体積がでるので、それを水平方向（図-3 (a) 矢印Cの方向）に積算することで、ある水位のため池全体の水の体積、すなわち貯水量の算出が可能となる。本計算法により、水位をさまざまに変化させた場合のため池の貯水量算出が可能となる。

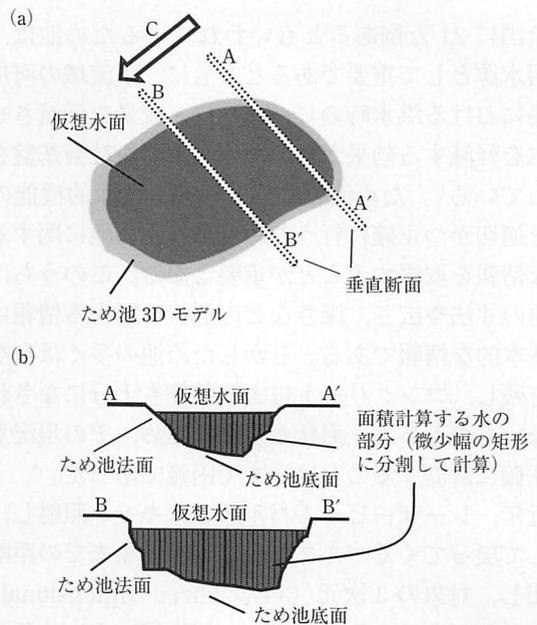


図-3 ため池貯水量算出の方法
(a) ため池3Dモデルと仮想水面、(b) 各垂直断面

III. 適用例

兵庫県加西市馬渡谷町にある丁始池というため池を対象とし、2009年2月に水抜きした状態で計測を行った（図-4）。この池の片側には車道があり、その反対側は山の斜面で、そこに樹林が繁茂している。さらに堤体があり、その背後に水田が存在する。面積は約1,260 m²、水深は最深部で約3 mである。使用した可搬型3Dライダーは、測定距離2~60 m、距離精度±8 mmのTime of Flight法を測距原理とするタイプであった。前章で述べた方法に従い、可搬型3Dライダーによる計測の後、ポリゴン化して得られた丁始池の3Dモデルを図-5に示す。

図-5 (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きわめて高精細に3D画像として再現されていることがわかる。また、樹林を通過したレーザービームパルスの情報をもとに、図-5 (b) のように樹林に

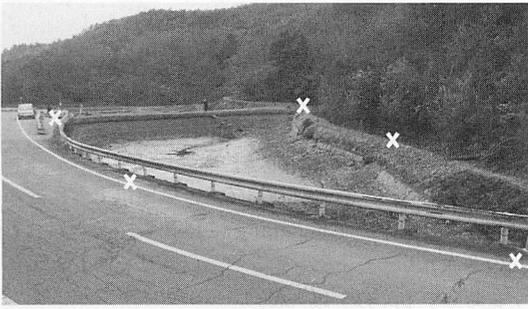


図-4 兵庫県加西市馬渡谷町丁始池 (×印はライダー計測地点)

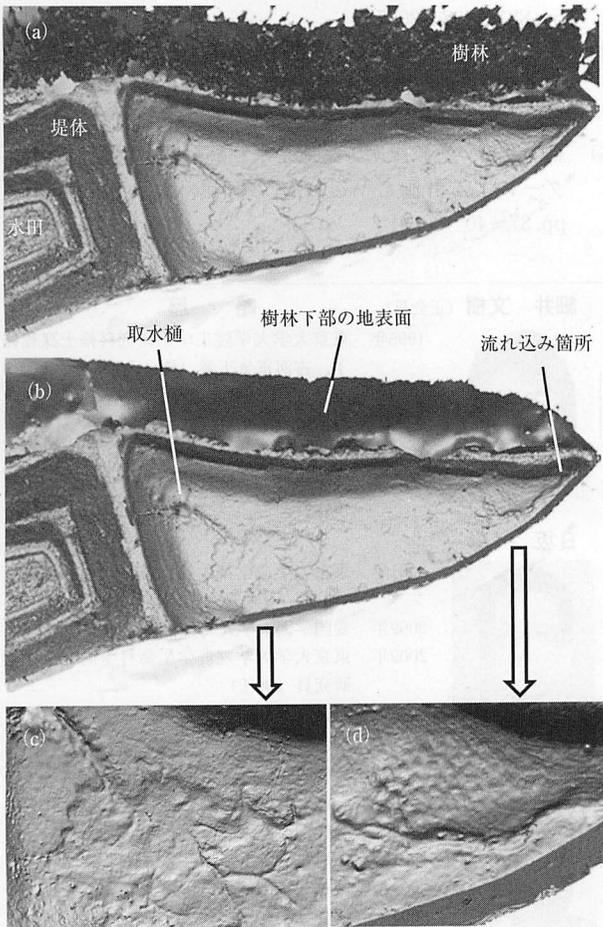


図-5 馬渡谷町丁始池の3Dモデル
(a) 樹林も含めた3Dモデル, (b) 樹林を分離した3Dモデル, (c) 取水樋近傍の拡大図, (d) 流れ込み近傍拡大図

覆われて通常計測困難な地表面も再現することができた。ため池の周囲はこういった植生に覆われていることが少なくなく、本手法はそうしたため池周辺部の現況把握に有効であると考えられる。図-5 (c) は取水樋近傍の拡大画像である。取水樋に向かって扇状に窪地が形成されていることが分かる。図-5 (d) はため池への流れ込み部分の拡大図である。流れ込みに沿ったみお筋や、周囲に堆積した土壌の凹凸まで、正確に

再現されていることが分かる。3Dモデルの誤差を算出するため、スケールを用い、ため池各部の寸法を10カ所実測し、3Dモデルから得られる値と比較した。その結果、誤差(絶対値)は、平均で30mm、最大で63mmであった。筆者らが行った水田の地表面を本研究と同じ機種可搬型3Dライダーにより計測した研究では、実測との比較で、平均13mm、最大で22mmの誤差であった⁵⁾。本研究ではこれよりも誤差が大きくなっているが、これは、本研究の対象であるため池のほうが、水田よりも起伏や傾斜などがより複雑であることに起因しているものと考えられる。

水位ごとの貯水量を算出するため、図-6に示すように仮想水面を作成した。最深部である取水樋周辺の窪みから水が貯まっていく様子が見て取れる(図-6(a))。

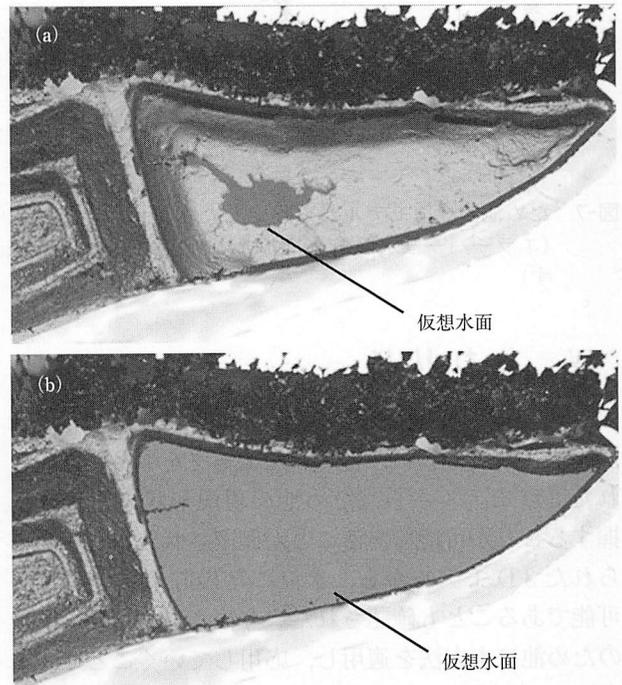


図-6 作成された仮想水面と馬渡谷町丁始池の3Dポリゴン画像
(a) 水位0.2m, (b) 水位2.6m

実際の水抜き時にも、この窪みには最後まで水が残っていたことが確認されている。仮想水面の水位を上昇させた状態(図-6(b))についても、水が満たされた状態の現地写真とモデルとの比較を行ったところ、よい一致が見られた。

各水位の仮想水面をもとに、垂直断面の厚みを1cm、断面積計算のための矩形の幅を1cmとして、水位ごとの貯水量を算出した。結果を図-7に示す。ここで、垂直断面の厚みおよび矩形の幅は、可搬型3

Dライダの点群密度から平均的な点間距離を算出し、決定した。さらに3Dモデルの寸法誤差が10 cm以内であることから、水位が ± 10 cm ずれた場合に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。エラーバーのレベルから、高い精度での貯水量算出が可能であることが分かる。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3Dライダの計測によって、その複雑な形状を数 cm 以内の精度で計測、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。

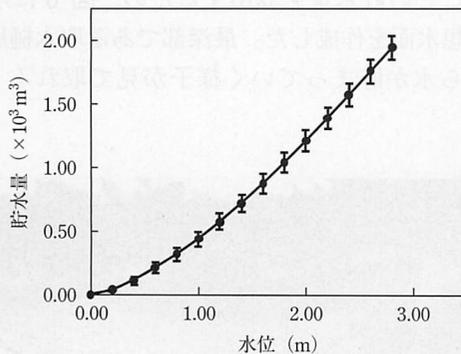


図-7 ため池の3Dモデルから推定した水位ごとの貯水量 (エラーバーは水面が10 cm ずれた場合の変動幅を表す)

IV. おわりに

本報では、可搬型3Dライダによるため池の3次元形状計測を行い、得られたデータをもとに作成された3Dモデルから、ため池の現況形状を正確に把握することが可能であることが確認された。さらに得られた3Dモデルから、水位ごとの貯水量の推定が可能であることも確認された。今後、さまざまな構造のため池に本方法を適用し、応用していくことで、本方法がため池の維持・管理や多面的機能の評価に有効に活用されることを期待したい。

謝辞 丁始池を対象とした本研究は、兵庫県加西市馬渡谷町の方々のご協力をいただきました。関係各位に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 大西亮一：天下溝に対する地元の新たな取り組みと情報伝達，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，pp.81~90 (2008)
- 2) 大政謙次，秋山幸秀，石神靖弘，吉見健司：ヘリコプター搭載の高空間分解能 Scanning Lidar システムによる樹冠高の3次元リモートセンシング，日本リモートセンシング学会誌 20，pp.34~46 (2000)
- 3) Omasa, K., Hosoi, F. and Konishi, A. : 3 D lidar imaging for detecting an understanding plant responses and canopy structure, Journal of Experimental Botany 58, pp.881~898 (2007)
- 4) 大政謙次，細井文樹：3Dライダ計測による地形と構造物の高精度の空間情報化について，ARIC 情報 88，pp.26~31，(2007)
- 5) 細井文樹，大政謙次：農地や水利施設の可搬型3Dライダによる計測とWeb-GISの利用，水土の知 77(4)，pp.37~40 (2009)

[2010.9.27.受稿]

細井 文樹 (正会員)



略 歴
 1995年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了，古河電気工業(株)入社
 2008年 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻博士課程修了
 2010年 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻講師
 現在に至る

日坂 彰



2001年 東京大学農学部生物環境科学課程卒業，(株)シーエーシー入社
 2009年 愛国学院大学人間文化学部助教
 2009年 東京大学大学院農学生命科学研究科農学研究員(併任)
 現在に至る

大西 亮一 (正会員)



1966年 三重大学農学部農業土木科卒業
 1966年 農林省入省，農業土木試験場
 1981年 九州大学博士号(農学)取得
 2004年 (独)農業工学研究所退職
 2004年 (財)日本農業土木総合研究所入所
 2007年 (財)日本水土総合研究所退職
 現在に至る

大政 謙次 (正会員)



1975年 愛媛大学大学院農学研究科修士課程修了
 1976年 環境庁国立公害研究所入所
 1985年 東京大学博士号(工学)取得
 1998年 筑波大学生物科学研究科教授(併任)
 1999年 東京大学大学院農学生命科学研究科生物環境情報工学研究室教授
 現在に至る