

1. はじめに

レーザスキャニング技術は、三次元座標を一定の品質で短時間に多量に取得できるという技術的な特徴から多方面で実用化されている。中でも地上型レーザスキャナは、比較的安価で局所的な地表面データを高精度かつ高密度に取得可能である。しかし水面による虚像が発生するという地上レーザ測量特有の問題があり、河川の物理環境計測に適用する上での課題である。そこで本研究では、地上レーザ測量において虚像データを効率的に除去するアルゴリズムを開発することを目的とする。

2. 対象区間と計測・観測内容

対象河川は、太田川の支流の一つで広島市佐伯区湯来町を流れる水内川である。平成 19 年 6 月に太田川との合流部から上流約 3km の区間を、平成 19 年 11 月に古持橋から下流約 250m の区間を対象区間とした。レーザ計測器として図-1 に示すスキャンステーション 2 (Leica Geosystems 社製) を用い、ファーストパルスにより三次元座標、反射受光強度、RGB データを取得している。同時にトータルステーションを用いて横断面測量をしており、6 月の測量では計測区間内に約 100m 毎に計 50 断面を、11 月の測量では約 5m 毎に計 23 断面を設けている。



図-1 地上型レーザスキャナ

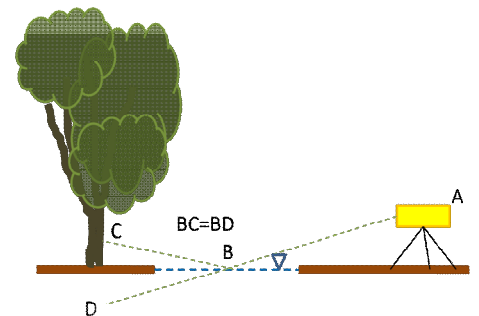


図-2 虚像が発生する原理

3. 水面反射による虚像の特徴

水面反射による虚像が存在すると地盤高データ (DEM) の取得や植生高の推定が困難となる。虚像の発生箇所は、レーザ計測器の対岸側、主に植生域の下に見られる。図-2 より、A の位置にあるレーザプロファイラからのレーザ光が照射され、水面で反射することによって、遠景の C 地点の地形をとらえ、 $BC=BD$ となる D の位置に測定対象が存在しているように見え、虚像ができる。このように、レーザプロファイラからレーザが照射されて再び器械に戻ってくるまでに水面で反射するため、虚像データの特徴として、対象を直接測量するよりも①受光強度が小さくなること、②標高が低くなることがあげられる。

4. 除去方法の構築と検証

虚像データは比較的受光強度が小さいことが特徴であるが、植生が繁茂する地盤付近でもレーザが地盤を捉えにくくなり、受光強度が小さくなる。受光強度だけでは虚像があるかを判断することは困難である。これより、受光強度だけでなく Z 座標もふまえて虚像データの除去に取り組む。また虚像データの除去と同時に実像データも除去してしまうと、データ数が大幅に減少してしまい、地盤高データが不足してしまう。よってできるだけ多くの実像データ数を確保しながら虚

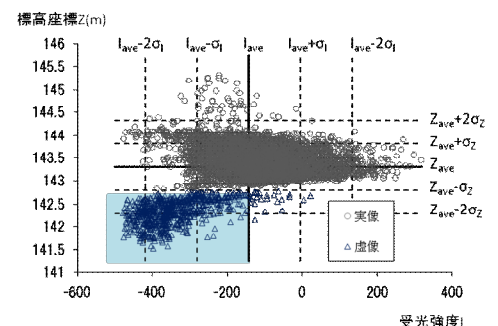


図-3 虚像を含む植生域の標高座標と受光強度の関係

像のみを除去する方法を用いる必要がある。

虚像が存在する平成 19 年 11 月測量結果の植生域 (5m×5m) のデータを抽出し、標高座標 $Z(m)$ と受光強度 I の関係を図-3 に示す。図中の Z_{ave} は 2m×2m のメッシュ内の標高座標の平均値、 I_{ave} はメッシュ内の受光強度の平均値、 σ_z 、 σ_I はそれぞれ標高座標、受光強度のメッシュ内の標準偏差を示す。実像データを○で、虚像データを×で示した。すると虚像データでは標高座標も受光強度も小さく、グラフ上の左下に偏る傾向がみられる。この点に着目し、受光強度が I_{ave} と σ_I とパラメータ α_i で表された値よりも小さい、かつ、メッシュ内の Z 座標がメッシュ内の Z 座標 Z_{ave} と σ_z とパラメータ α_z で表された値よりも小さいものを虚像データとして除去することとする。すなわち、

虚像データとして除去する条件

$$I \leq I_{ave} + \alpha_i \times \sigma_I \quad \text{かつ} \quad Z \leq Z_{ave} + \alpha_z \times \sigma_z$$

ここで虚像データを除去しながら、実像データ数を確保でき、地盤高データが残る効率的なパラメータを採用しなければいけないため、各断面の実像データ残存率と虚像データ除去率を確認しながらパラメータ α_i 、 α_z を変化させる。

$$\text{実像データの残存率 (\%)} = \frac{\text{断面内の残った実像データ}}{\text{断面内の全実像データ}} \times 100$$

$$\text{虚像データの除去率 (\%)} = \frac{\text{断面内の除去された虚像データ}}{\text{断面内の全虚像データ}} \times 100$$

パラメータは $\alpha_i = -0.5 \sim +0.5$ 、 $\alpha_z = -1.5 \sim -0.5$ で変化させ、メッシュサイズは 2m×2m、サンプル範囲は平成 19 年 11 月測量結果断面 8～11 の計 4 断面とする。

図-4 にサンプル範囲の実像データ残存率を、図-5 に虚像データ除去率を示す。 α_i 、 α_z とともに値が小さいほど実像データ残存率は高く、逆に α_i 、 α_z とともに値が大きいくほど虚像データ除去率は高くなる。図-5 をみると α_z が -1.0 を越えると虚像データ除去率が高くなり、 α_i が 0 を越えると虚像データ除去率は 95% を越える。また図-3.6 では、 $\alpha_i = 0$ 、 $\alpha_z = -1.0$ で実像データは 90% 以上確保している。これらの結果より、 $\alpha_i = 0$ 、 $\alpha_z = -1.0$ とする。

図-6 に平成 19 年 11 月測量結果の処理前、処理後の断面を示す。比較すると虚像データは除去され、地盤高データは保存でき概ね良好な結果を得られた。各断面の実像データ数は 9 割前後のデータが残り、地表面被覆の判定や粒度分布の推

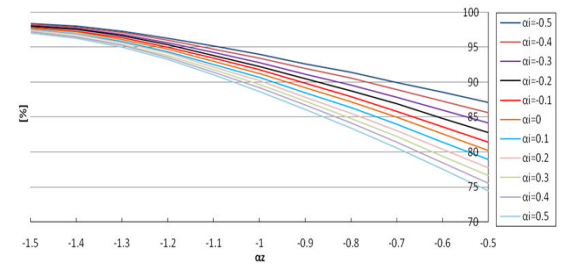


図-4 サンプル範囲における
実像データ残存率

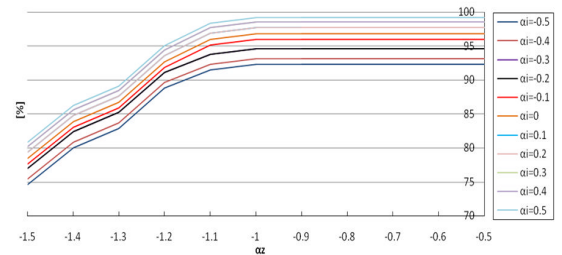


図-5 サンプル範囲における
虚像データ除去率

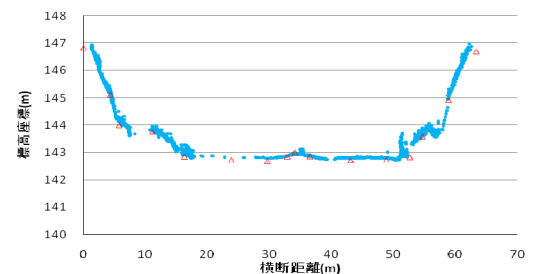
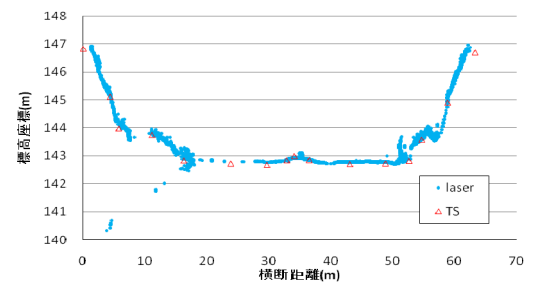


図-6 処理前（上）と処理後（下）
の河床高データ

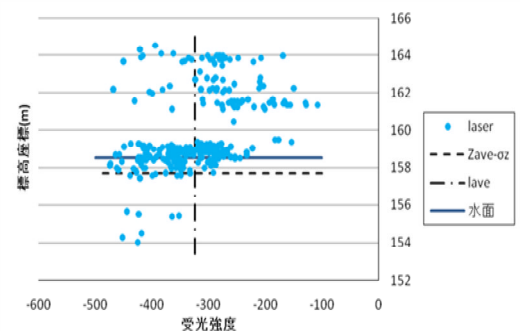


図-7 消えない虚像データを含
むメッシュ

定にも問題はないと判断できる。メッシュサイズは 1m, 2m, 5m で試したが、2m メッシュが全体的に多くの実像データ数を確保しつつ虚像データを効率的に除去することができた。

しかし、6 月の測量結果に適用するとこの除去条件では虚像データを判定できないことが判明した。除去しきれなかった虚像を含むメッシュ内にある全データを図-7 に示す。除去条件の範囲に含まれていない虚像データが多くみられる。虚像データを除去するため、パラメータ α_i , α_z の値を変化させる。すると図-8 より $\alpha_i = 0.8$, $\alpha_z = -0.5$ のとき条件①では除去しきれなかった虚像を除去することができ、水面高データも残すことができた。

6 月の測量結果の他の断面でも虚像データを除去することができたが、実像データ数が大幅に減少してしまうことが判明した。減少しすぎると地盤高の算出に支障をきたす恐れがある。地盤高データを含む実像データを虚像データと同時に除去されないようにしなければならない。

虚像が発生する箇所は、虚像は水面より下で発生するため、メッシュ内で z 方向のばらつきが大きくなる。この点に着目し、

虚像データとして除去する条件

$$\alpha_z < P \text{ のとき } I \leq I_{ave} \text{ かつ } Z \leq Z_{ave} - \sigma_z$$

$$\alpha_z > P \text{ のとき } I \leq I_{ave} + 0.8 \sigma_I \text{ かつ } Z \leq Z_{ave} - 0.5 \sigma_z$$

とする P を決めることとした。パラメータ P を変化させながら、6 月測量結果断面 43 の虚像データ除去率と実像データ残存率をみると、 $P=1.7$ のところで虚像データ除去率が低くなる。(図-9) これより $P=1.6$ と決定した。

改良した判別条件を用いて虚像データを除去した結果、図-10 に示すように、6 月測量の断面 43 において条件①では除去しきれなかった虚像データを除去することができた。各断面の実像データ数は約 9 割残り、地盤高データは保存でき概ね良好な結果を得られたと考えられる。なお得られた地盤高データはトータルステーションによる測量結果とほぼ一致している。

5. おわりに

地上型レーザスキャナにより取得した標高座標と受光強度の平均値と標準偏差を使う虚像データの判定方法を提案し、それによって実像データを残しつつ虚像データを効率的に除去できることを確認した。また平成 19 年 6 月および、11 月測量結果に対して本アルゴリズムを適用し、季節が違っても本研究で示したアルゴリズムが有効であることを確認した。

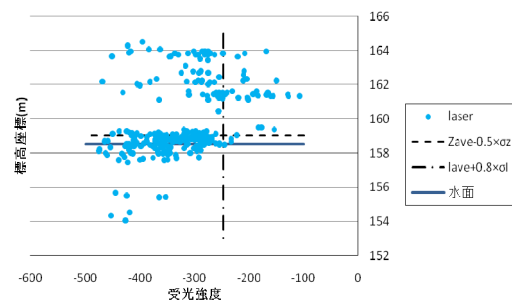


図-8 消えない虚像データを含むメッシュ

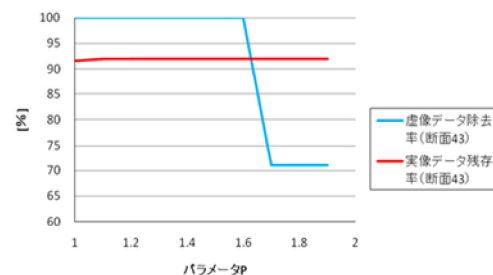


図-9 断面 43 (6 月測量結果) の虚像データ除去率と実存データ残存率

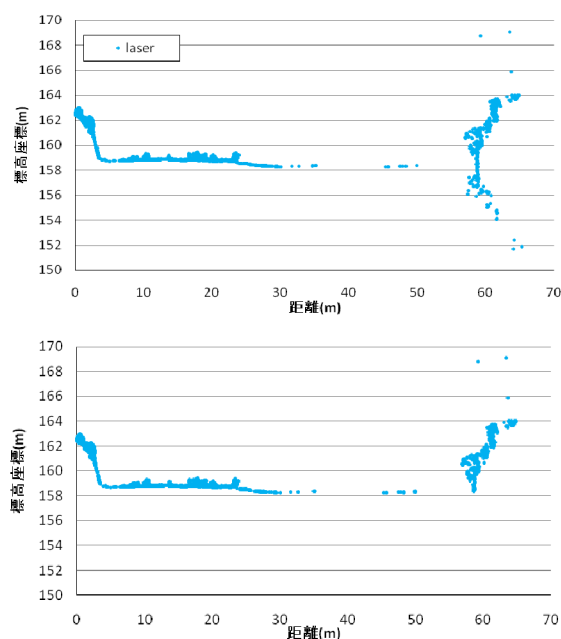


図-10 6 月の測量結果での処理前 (上) と処理後 (下)