

地上レーザ計測による河川物理環境データの取得法

東京都	正会員	〇一宮 梢	復建調査設計株式会社	非会員	森山 学
広島県	非会員	木村成弘	広島大学大学院	フェロー会員	河原能久
中央大学研究開発機構	正会員	内田龍彦	広島大学大学院	学生会員	押田さやか

1. はじめに

近年航空レーザ測量による河川の物理環境データの取得が行われつつある。しかし、航空レーザ測量は、運用コストが高いこと、緊急時への対応が容易でないこと、狭い領域で詳細なデータを取得するには費用が嵩み適当でない等の課題を有している。それに対して、地上レーザ計測は、機器の持ち運びが容易で狭い領域のデータを高精度かつ高密度に取得することが可能である。そこで、本研究では、地上レーザ測量により河床高等の河川の物理環境データを取得する方法を検討する。

2. 対象区間と計測・観測内容

太田川の支川である水内川の古持橋から下流約 250m の区間を研究対象とした(図-1 参照)。レーザ計測器としてスキャンステーション (Leica Geosystems 社製) を図中の×印の 3 地点に設置し、ファーストパルスから 3 次元座標値と反射受光強度、および RGB データを取得した。同時に、26 横断面でトータルステーションを用いた測量と水際点の計測、水域では水深、植生域では植生高の計測、粒径調査を行った。

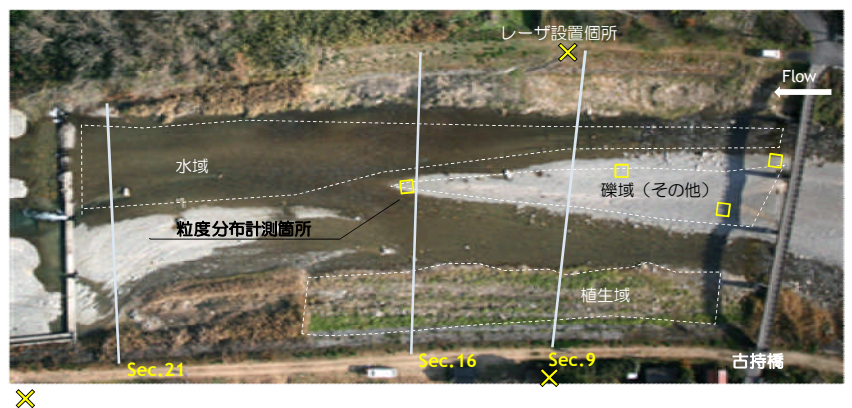


図-1 水内川の対象区間

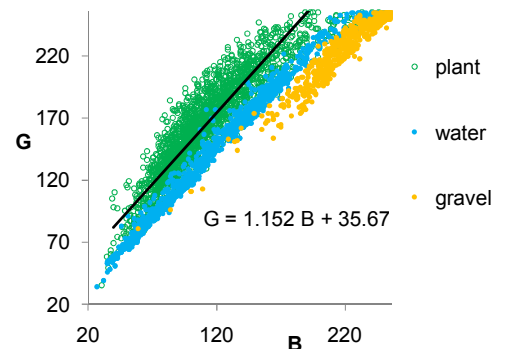
3. 地上レーザ測量の特徴と課題

地上レーザ測量の結果を整理したところ、航空レーザ測量と比較して、次の特徴や課題を有することが判明した。①計測距離によって計測点密度が大きく変化する。②水域でもレーザスキャナに近い範囲ではデータが取得される。③レーザ光が水面で全反射し、水面下に虚像を得ることがある。④植生の繁茂する区域ではデータが欠損する。②～④については地上レーザ測量特有の問題であり、処理方法を見出すことが必要である。

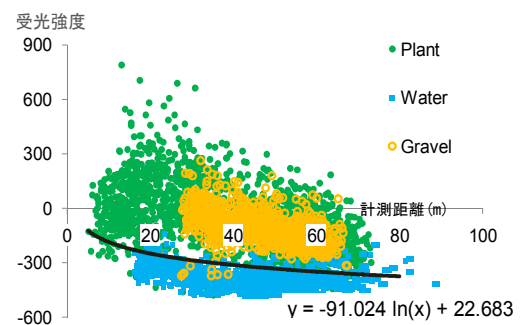
4. 地覆分類ごとの RGB と受光強度特性

対象区間における植生域、礫域、水面域からサンプルデータを取得し、それぞれの被覆分類ごとの RGB 値と受光強度の特性を検討した。

図-2(a)に G 値と B 値の関係を示す。植生の分光特性の通り、植生に対するレーザデータでは G 値が高い。そこで植生データとその他のデータを判別するために、ある B 値に対して植生データ全体のおよそ 70%以上カバーするように判別式(図中の直線)を得た。一方、図-2(b)に受光強度とレーザ計測距離の関係を示す。水域のデータは全体的に受光強度が低い。また、礫域と植生域では水域データより強度が大きい。さらに、計測距離



(a) G と B の関係



(b) 受光強度と計測距離の関係

図-2 地覆分類ごとのデータ特性

が大きくなるにつれ受光強度が低下する．そこで図より，計測距離毎に水域データのおよそ 80%以上を識別できるように判別式（図中の曲線）を作成した．

5. 物理環境データの算出

5.1 自動地覆分類手法

地表面の被覆分類を以下の手順で行った．ここでは地表面被覆を 3 種類に分類するが，少なくとも異なる 2 種類以外を排除するか，あるいは異なる 2 種類の領域を抽出する判定式が必要である．図-2 に示した 2 つの判別式は対象とする分類以外のデータを完全に排除するものではない．そこで，ここでは河道幅に比べて十分小さい $1\text{m}\times 1\text{m}$ メッシュにおける支配的な要素を抽出し，被覆を決定する．

- ① 各メッシュにおいて判別式による排除率 E を調べ， $E < E_{min}$ であれば「対象とする分類」， $E > E_{max}$ であれば「対象とする分類ではない」と判定する．メッシュ内のデータ総数が最低データ数未満であればデータ欠損領域と扱う．ここでは 2 つの判定式において同一の閾値 $E_{min}=0.4$ ， $E_{max}=0.8$ を用いる．
- ② 欠損領域を分類する．欠損領域は，水域もしくは植生等の凹凸の影によって生じる．水域は他の領域よりも高さが低いことから，欠損領域の地覆種類は水域，植生域の順で可能性が高いと言える．そこで，水域，植生域，その他の順で，欠損領域を隣接する地覆種類にする．
- ③ 地覆種類が決定していない領域を分類する．欠損領域の分類と同様に，水域，植生域，その他の順で，未決定領域に隣接する地覆種類にする．ただし，未決定領域でもある領域である可能性が少ないメッシュ(植生域か礫域等)については，その領域(水域等)にはならないようにしている．なお，この手順では被覆の種類が決定されないこともあるが，その場合には未決定領域を不明とし，同様の手順で分類する．

図-3 に，地上測量による観測結果と本自動分類法の結果の比較を示す．対象区間には砂州が存在するなど複雑な形状をしているが，水域と陸域について本分類法は良好な結果を与えている．植生域については，特に右岸側の陸域において観測結果と分類結果の相違が見られるが，これはこの付近は判定式から明確な地覆分類が困難であること，また実際に現地では植生が低いもしくは密集していないためである．

5.2 水面形の取得と水面反射による虚像データの自動除去

水際の水面形を推定し水面反射による虚像データを自動的に除去した．

- ④ 水際の水面形を推定するために水際の水位データを抽出する．陸域メッシュが隣接する水域メッシュを水際メッシュとし，水際の位置は水際メッシュの中央，水位はそのメッシュにある全データの平均高さとする．ただし，水際メッシュに十分なデータが存在しない場合には水位は隣接する陸域メッシュの平均高さとする．この方法で抽出された水位には，真の水位よりも高い地盤データや真の水位よりも低い水面の虚像データを含む．
- ⑤ 水際の水位データの補正と補間を行う．まず，水際水位データと水域と陸域の境界面で水位勾配をゼロとする境界条件のもと，水域の水位をラプラス方程式で解く．次に水域と陸域境界面の水位を境界条件として陸域水位を同様に解く．水際水位データが周囲の補間された水位よりも閾値 dH_{min} 以上高い場合は，真の水位よりも高い地盤データもしくは水域と誤認識された陸域データを抽出していると判断し，この点を水際データから除去する．逆に，水際水位データが周囲の補間された水位よりも閾値 dH_{min} 以上低い場合は，水面の虚像データと判断し，除去する．
- ⑥ 補間された陸域水位よりも閾値 dG_{min} 以上低いデータを削除する．これは，水面の虚像データは原理的に反射した水面よりも低い高さを持ち，さらにレーザ測量では水面下の河床を計測することができないことから，水面高より低いデータは水面の虚像データと見なせるためである．ここで，虚像データ点における補間された陸

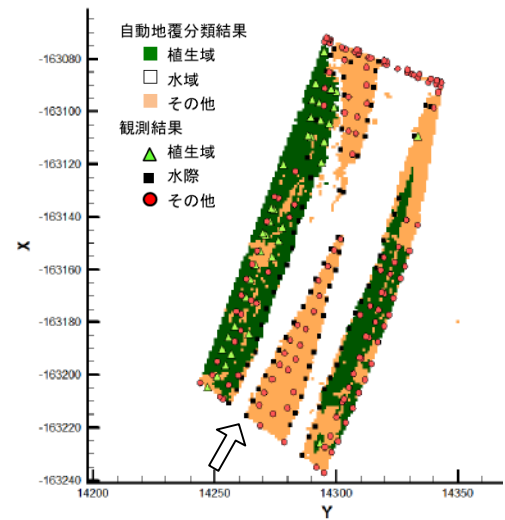


図-3 自動地覆分類結果と観測結果の比

域水位と反射した水面の高さは等しくは無いが、レーザ計測機は水面よりも高く設置されるため、水面反射角度は水面勾配に比べて遥かに大きく、この誤差は問題とならない。また、上述の水面の虚像データの削除の考え方から、本来閾値は $dG_{min}=0$ と設定すべきであるが、この場合多くの水面データが削除される。また、 dG_{min} を水位の推定誤差以下とすると低い陸域のデータも削除される問題が生ずる。そこで、ここでは問題となる虚像データのみを削除するために $dG_{min}=0.2m$ とする。なお、水面形は、判定式や排除率の不具合による水域、陸域の誤判定の修正にも有効であるが、本論文においては水域、陸域判定に大きな誤りはなく水面形による地覆分類の修正は結果的にされていない。

以上のアルゴリズムを行った後のレーザデータと横断測量結果の比較を図-4 に示す。問題となる虚像データは完全に削除されている。このため、①~⑦のアルゴリズムで生成されたデータ群を用いて、物理環境データの取得を行う。

5.3 地盤高と植生高の算出法

植生等が繁茂する領域においてレーザ計測データの多くは植生を捉えるため、効率的に河床高を抽出するフィルタリング手法が必要となる。

- ⑧ 各メッシュで平均高さ Z_{ave} の平面を定義し、その面からの差の最大値 dZ_{max} と最小値 dZ_{min} を抽出する。平均高さの平面は平均値 Z_{ave} をメッシュ中央に配置し、メッシュを 4 分割した領域において接する二つのメッシュと自身のメッシュの平均値を結ぶものとする。欠損領域においてはこれらの量は周囲から補間して求める。
- ⑧ 各メッシュの仮地盤高 Z_t を $Z_t = Z_{ave} + dZ_{min}$ 、植生表面高 Z_v を $Z_v = Z_{ave} - dZ_{min}$ とする。
- ⑨ 植生等が繁茂する領域においては、仮地盤高 Z_t が真の地盤高よりも高くなると考えられるため、地盤高が取得されにくいメッシュにおいては、全ての方向に極大値とならないように補正したものをメッシュの修正地盤高 Z_b として算出する。ここで、地盤高が取得されにくいメッシュの判定は、メッシュに含まれるデータの凹凸の最大スケールとメッシュスケールの関係、 $dZ_{max} - dZ_{min} > (dxdy)^{1/2}$ を満たすものとする。また、植生高 h は $h = Z_v - Z_b$ で計算できる。

以上のフィルタリング処理により求めた修正地盤高と植生高を図-5 に示す。フィルタリング処理により滑らかな河床高が生成され、下流側の高い植生の繁茂状況が抽出できていることが分かる。

5. おわりに

受光強度と RGB データを用いた自動地覆分類法と水面形取得手法を用いた水面虚像データの除去法と地覆分類の自動修正法を提案した。横断測量結果との比較により、本手法の妥当性を明らかにした。今後、判別式の適用性の確認を行いながらデータ処理の効率化を図る予定である。

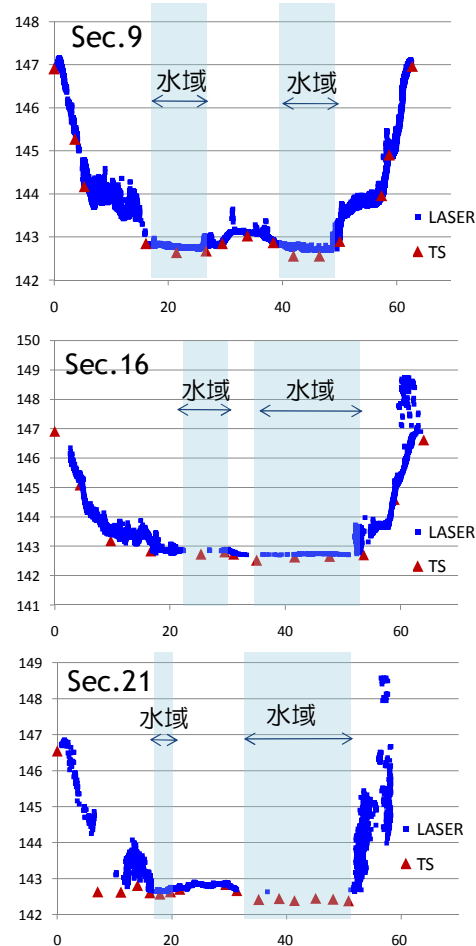


図-4 水面反射による虚像データ除去後のレーザデータと横断測量結果の比較

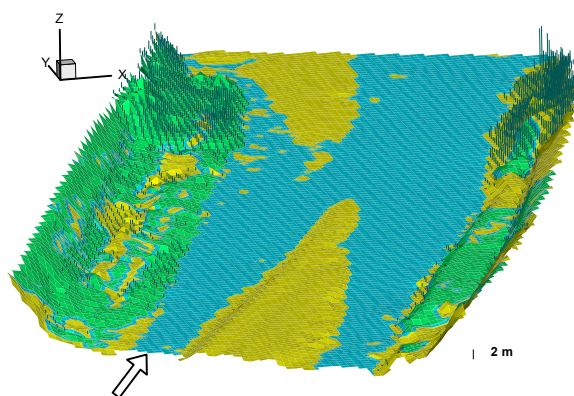


図-5 本フィルタリングによる DEM と植生高 (鉛直方向は 2 倍引き延ばしている)