

山間部小規模河川を対象とした 写真測量による多地点流量観測

1250117 中田秀敏

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

適切な水源管理には、山間部の小規模河川の経時変化を捉える技術が求められる。本研究では、藤ヶ谷流域内の舞川を対象に、従来よりも簡便な手法として期待される写真測量による流量観測を9地点で実施した。渇水期の経時変化に着目し、計4回の観測結果から、実測値と推定値の比較をした結果、流量に大きなバラつきが見られた。誤差要因の検討を行ったところ、断面積は光の屈折により系統的誤差が認められた。粗度係数については、河床の岩石の空間分布が影響していると思われたが、有効な指標は見出せなかった。

key words : SfM, 点群, 粗度係数, 写真測量, 岩石頂点探索

1. はじめに

近年乾季における渇水の問題は、生態系や社会生活にも悪影響を及ぼしている[1]。渇水問題では、水源周辺の森林の水源涵養機能の低下が挙げられる。森林面積や樹木量が大きな影響を与えており、樹木は雨水を遮断し、成長に水分を消費するため、森林が過剰に繁茂すると、降雨の河川への水流出を抑制してしまう。一方で、土壌を豊かにし、保水力が高まることによって、降雨時の水分を貯蓄し、渇水期には流出量を増加させる働きもある[2]。したがって、河川流量を安定的に維持するためには、適切な森林管理が必要不可欠であり、この関係性を評価するためには、森林と河川流量の両方を計測する必要がある。

近年、UAV(無人航空機)やLiDAR(光学的測距技術)を用いた森林観測技術が広く利用されており、河川流量の計測にも、画像計測やレーザー測量が応用されている[3]。しかし、これらの技術は主に中規模から大規模な河川に適応されており、山間部の小規模河川においては河道が狭隘で、樹木により鬱閉しているため実用が困難であるという課題がある。

国土情報処理工学研究室では、小規模河川における簡便な流量観測を可能にするため、写真測量技術の1つであるSfMを用いた手法を構築した[4]。SfMとは、多地点から対象物を撮影し、対象物の三次元

点群データを作成する技術である。しかし、適応事例が少なく、十分な検証が行われていない。

したがって本研究は、本手法を用いて様々な河川での写真測量による流量観測を実施した。観測フィールドとして、香南市に位置する藤ヶ谷流域内の舞川を選定した(図1)。この河川流域は、森林被覆率が高く、水深も浅いため、写真測量を実施するには最適な環境といえる。観測地点は下流から1~9の地点に設定した。地点1の下流には高知県が水位計を設置している。なお、観測日は渇水期に焦点を当て、12月~1月とし、計4回実施した。

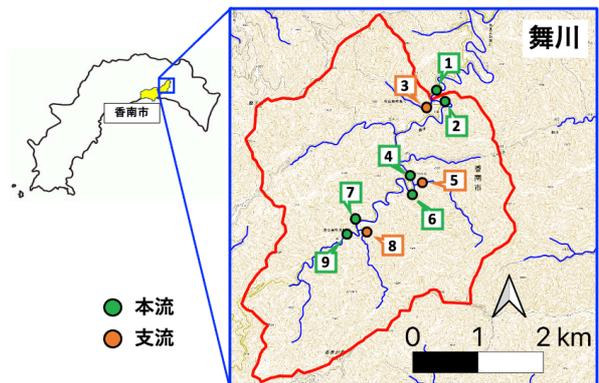


図1 観測フィールド

2. 流速計による流量観測

本研究における精度検証には、プロペラ式流速計を用いて、流量観測を行った。使用したプロペラ式流速計(KENEK VR-301)と計測風景を図2に示す。プロペ

ラ式流速計を用いた流量観測には区分求積法を用いた[5]。流量は、流速に断面積を乗じて算出可能であるため、河川の観測線を横断方向に10分割し、それぞれの地点毎に水深と流速を計測後、水深と川幅より断面積を求め流速と乗じて流量の算出を行った(図3)。なお、水深の計測には鋼尺を使用した。式(1)は、区分求積法による流量算出式である。



図2 プロペラ式流速計(KENEK VR-301)と計測風景

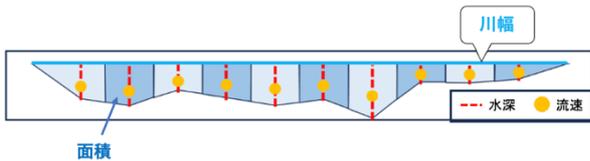


図3 区分求積法

$$Q = \sum V_i A_i \quad \text{--- (1)}$$

Q : 流量(m^3/s) V : 流速(m/s) A : 断面積(m^2)

流量算出を行い、流域面積と流量の比較を行った(図4)。使用した流量データは、渇水期に1番近く、データが揃っている12/22のデータを使用した。なお、流域面積の算出にはQGISを使用した。手法は、分水界となる尾根を手動でラインを引き、そのラインをポリゴンに変換し、面積を算出した。

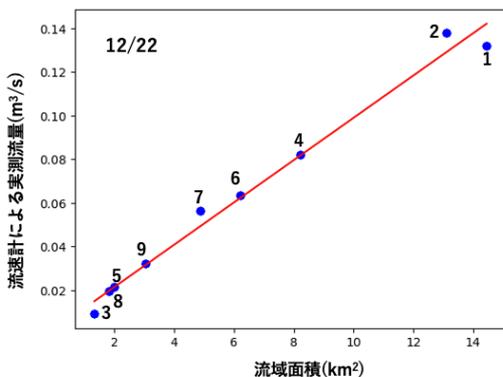


図4 流速計による実測流量と流域面積

図4より、流域面積の増加とともに流量は増加する傾向がある。さらに、相関係数も0.993と高い値を示した。

3. 写真測量による流量観測

3.1 河川の点群作成

観測地点の写真測量に使用したカメラは、DJI社のアクションカメラであるDJI Pocket2を使用した(図5)。幾何補正用の基準点は、トータルステーション(TS)での基準点測量を行い、各河川に4~5点設置した。撮影ルートは、水際を高精度に作成するため兩岸の水際に沿って撮影した後、河道中心を往復するように撮影を行い、最後に観測線箇所の撮影を行った。河川の撮影動画から1秒毎に1フレームを画像で切り出し、SfM(Metashapeを使用)により河川の点群の作成をした。基準点における点群の幾何精度は約±1cm程度である。

図5 アクションカメラによる写真測量風景



3.2 マニング式による推定流量算出

作成された点群は、流量算出に必要な要素(断面積・平均水深・水面勾配)の抽出が可能である。それらのデータを用いて、水理学の代表的な式であるマニング式(2)での流量算出を実施した。

$$v = \frac{1}{n} \cdot h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad \text{--- (2)}$$

v : 平均流速(m/s) n : 粗度係数($\text{m}^{1/3}\text{s}$)

h : 平均水深(m) I : 水面勾配

水位と水面勾配(I)を取得するためには水際線を使用する。点群にはそれぞれ高さ情報が含まれており、水際線上の水位を任意地点で取得することが可能である。上流と下流の高低差を算出し、上流・下流の2点間距離で除せば、水面勾配の推定が可能で

ある。また、観測線は上流点から下流点の中間地点に設定した。(図6)



図6 水位・水面勾配取得(観測地点2)

平均水深(h)と断面積(A)は、河川点群から作成したDEM(Digital Elevation Model)と水面標高を合わせた河川三次元モデルで取得できる。DEMとは、地物を除外した地表面を表したもので河床形状を表している。点群を1cmサイズのグリッドに変換し、その後、DEMから観測線における断面を抽出し、右岸と左岸の水際の標高より水面を決定する。推定した水面から河床までの鉛直距離を求め、その平均値を取ることで平均水深を算出する。算出した平均水深と水際線間距離を乗じることで断面積の算出も可能である(図7)。以上のデータから流速計算を行い、流量に変換する。



図7 点群から作成したDEMと水面

以上の行程を経て、推定流量と実測流量の比較を行った。

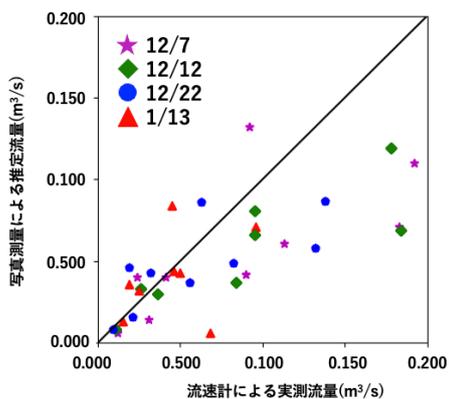


図8 マニング式による流量と流速計による実測流量の比較

図8の、X軸は流速計での実測流量、Y軸は写真測量での流量算出結果をプロットし比較したものである。結果は、流量にばらつきが出た。この原因を明らかにするために誤差要因の検討を行った。

4. 誤差要因の検討

4.1 断面積の比較

SfMより作成された点群と実際の河床形状に差異があると考え、実測による断面積と写真測量による断面積の比較を行った。

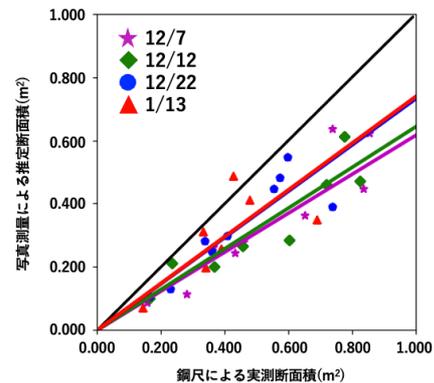


図9 実測断面積と推定断面積の比較

図9のX軸は実測断面積の結果を、Y軸は写真測量で得られた断面積の結果をプロットし回帰直線を描いたものである。結果は、実測値よりも推定値の方が過小評価された。河川を対象とした写真測量では、光の屈折が影響し、実際的水深より浅く評価された水深が画像に映り込むため、結果として断面積も小さく算出されてしまうと考えられる[5]。一方で、1/13を除いて相関係数は0.8以上あったため、異なる河床状態においても、相対的な断面積は写真測量で取得できていると考えられる。

4.2 粗度係数の検討

a) 逆算粗度係数

先行研究では[4]、1つの観測線を対象とし、マンニングの粗度係数を0.1に固定して成果が得られていた。しかし本研究では、9箇所の観測線を対象とし、河床状態が異なり粗度係数も異なると考えられる。そこで流速計を使用した実測データよりマンニング式(2)を用いて粗度係数の逆算を行った。また、粗度係数は、水深も影響することが報告されているため、写真測量で得られた平均水深との比較を行った。

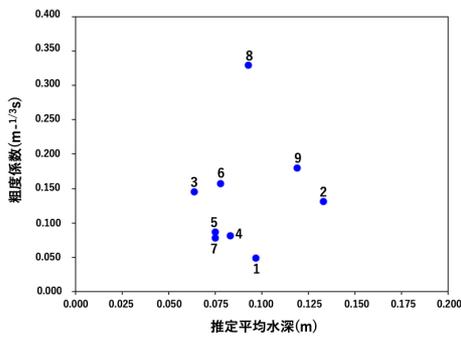


図 10 粗度係数と平均水深の関係

図 10 の X 軸は写真測量での推定平均水深を、Y 軸は逆算した粗度係数をプロットしたものである。結果は、粗度係数と水深との間に明確な関係は見られなかったが、粗度係数のバラつきは非常に大きいことが分かった。

b) 岩石密度と粗度係数の関係

粗度係数は河床に存在する岩石の空間分布が影響していると予想される。そこで、写真測量によって得られた DEM を使用して、岩石の頂点探索を実施した。対象範囲は、観測線に対して対角線に取り、長方形とした。岩石頂点探索の手法は、1cm×1cm を 1 グリッドとし、11cm×11cm(11×11 グリッド)の範囲内で、中央の標高の値が周囲 120 グリッドの最大値である場合に、その中央座標を岩石頂点とした。さらに、高さの閾値は、11×11 グリッド内の最高点と最低点が 5cm 以上の岩石頂点を抽出した。図 11 に抽出結果の例を示す。抽出された岩石は赤丸で示した。

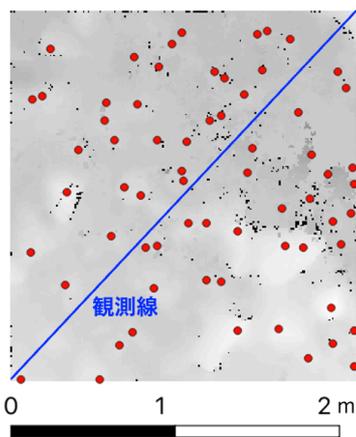


図 11 岩石頂点探索解析結果例(観測地点 9)

12/22 のデータを使用して、逆算した粗度係数と岩石密度の比較を行った。

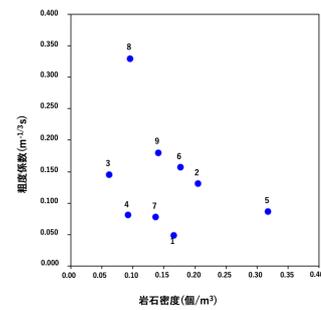


図 12 粗度係数と岩石密度の関係

図 12 の X 軸は岩石密度を、Y 軸は逆算した粗度係数をプロットしたものである。結果としては、粗度係数と岩石密度の間には、明確な関係は見られなかった。本研究では 11×11×5cm 以上の大きさの岩石に焦点を当てており、それ以外の大きさの岩石が粗度係数に与える影響は考慮されていないことに問題がある可能性があるため、様々な粒径を対象とした解析が必要である。

5. まとめ

本研究では、写真測量による多地点流量観測を行った。推定値と実測値を比較して、写真測量による流量はバラつきが大きかった。その要因は、断面積と粗度係数が影響していると考えられ、断面積は、光の屈折の影響で系統的誤差が認められた。粗度係数は岩石の空間分布が影響していると考え、岩石頂点探索を行い、粗度係数と比較したところ、明確な関係は見られなかった。したがって、今後の岩石の空間分布を総合的に解析していく必要がある。

あらゆる河川で、写真測量が適用できるようになれば、河床の微細な形状や、流れに対する影響をより正確に捉えることが可能となり、水源管理において有用な知見が得られることが期待される。

参考文献

- [1] 清水康生, 流量変動が河川環境の維持形成に果たす役割に関する研究, RIVERFRONT 人と川とのふれあいを求めて, p3, 1999 年
- [2] 独立行政法人森林総合研究所, 森林と水の謎を解く(2)間伐と水流出
- [3] 林野庁, 高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き, p29, p43, 50
- [4] 笹岡南斗, 森林評価のための写真測量による河川流量推定, 高知工科大学大学院修士論文
- [5] 国土交通省, 調査編第 2 章 水文・水理観測第 4 節 流量観測 p15-20
- [6] 神野有生, UAV と SEM-MVS を用いた河床冠水部の写真測量のための水面屈折補正係数に関する検討, 河川技術論文集, p19-24, 2018 年