

マルチスペクトルカメラを用いた濁水観測技術の高精度化

高知高専専攻科 学生会員 ○武田龍弥 高知高専 正会員 岡田将治 土木研究所 正会員 萬矢敦啓

1. はじめに

河川の土砂動態を把握する際に実施される濁水観測は、一般的に水表面の点データの取得であり、時空間的に変化する浮遊砂濃度の計測には多大な労力と時間を要する。著者らはマルチスペクトルカメラを用いた分光法により、濁度平面分布の算定方法の開発をしている。これまで、浮遊砂の卓越するバングラデシュ・ブラマプトラ川において、マルチスペクトルカメラを搭載した UAV で空撮した画像および照度計の計測データから、式[1]の反射率算定式¹⁾により濁水反射率(ρ_w)を算出した後、式[2]の Nechad ら²⁾の提案する濁度推定式から、水表面の濁度(T)分布計測を試み

$$\rho_w = \frac{L_w}{L_p} \times \rho_p \times \frac{irr_panel}{irr_dls} \times fresnel(sun_ang) \times \frac{\cos(sun_ang) + \frac{1}{dir_dif_ratio}}{\sin(sun_ele) + \frac{1}{dir_dif_ratio}} \quad [1]$$

$$T = \frac{A_T \rho_w}{1 - \rho_w / C} \quad [2]$$

た³⁾。その結果、定性的な濃淡の把握はできたものの、実測濁度(212~480FTU)に対する推定濁度の決定係数が0.4となり、精度の課題が残った。そこで本研究では、濁度推定精度の向上および観測手法の汎用化を目的として、現地の河床材料を用いた基礎実験および現地観測を実施した。

2. 研究方法

北海道二風谷ダム湖内の堆積土砂を用いて、一般にダム湖で想定される6ケース(20~143FTU)の濁水試料と清水を、全天カメラにより雲量(0~10)の時系列変化を計測し、晴天時および曇天時の条件下において、本手法の適用性に関する基礎実験を実施した。ここでは基礎実験の結果を基に反射率算定式の感度分析を実施し、濁度推定精度に対する影響評価を行った。さらに、[2]式の項目である、雲量変化に伴う太陽エネルギーの直達光と拡散光の割合の変化(dir_dif_ratio)の関数を定義した。なお、雲量は全天カメラの撮影画像を機械学習させることで判定した。

これらの有効性を検証するため、二風谷ダム貯水地で現地観測を行った。基礎実験と同様に雲量変化を把握しながら本手法を用いて濁水反射率を計測し、同時にボートに搭載した濁度計によりダム湖内の濁度平面分布を検証用データとして取得した。また既往の研究²⁾³⁾では、0~100FTUの低濁度の推定にはRed波長(686nm)、100FTU~1000FTUの高濁度の推定にはNIR波長(840nm)の反射率との相関が高いとされていることから、それぞれの反射率で濁度推定し、精度を比較した。

3. 研究成果・考察

11/3,11/12(雲量0~10)に計測した262個の濁水と清水の $\rho_w(\text{Red})$ と濁度の関係を図-1に示す。四分位範囲を示す箱がすべての濁度と重なるほど反射率のばらつきが大きく、一価関数といえないことがわかる。

この要因を考察するため、実測値を用いて式[1]の反射率算定式に及ぼす感度分析を行い、各項目の実測値とそのばらつきから、反射率のばらつきの要因を調べた。その結果、濁水面の明るさを示す L_w 、濁水計測時に照射された太陽光量を示す irr_dls 、太陽光と照度計間の角度を示す sun_ang のばらつきが影響し、特に sun_ang の

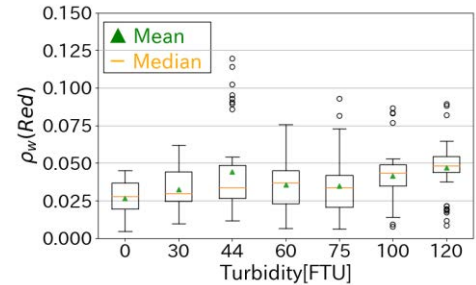


図-1 $\rho_w(\text{Red})$ と濁度の関係(11/3, 11/12)

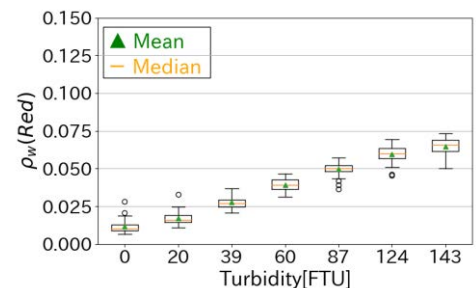


図-2 外部 IMU の値を用いて算定した $\rho_w(\text{Red})$ と濁度の関係(1/14~1/16)

影響が最も大きく、 $\pm 10\%$ のばらつきが濁度推定結果を $-44\sim 28\%$ 変化させることが明らかになった。*sun_ang* は照度計の傾斜情報と太陽方位角、太陽仰角との内積により算出される項目である。実測値では、計測器を水平に固定していたものの、*pitch*, *roll* の値がそれぞれ 20° , -15° といった過大な値が計測されており、傾斜情報の計測精度が影響したといえる。

これらを踏まえ、傾斜情報を高精度の外部傾斜センサーの値に置き換え、6 ケースの濁水と清水を再計測した。1/14~1/16(雲量 0~10)に計測し、外部 IMU に置き換え算定した 256 個の濁水と清水の $\rho_w(\text{Red})$ と濁度の関係を図-2 に示す。図-1 と比較すると、箱の重なりが解消されており、ばらつきが小さいことがわかる。しかしながら、外れ値の閾値であるひげの長さは、依然として重なりがある。これは、雲量の増加に応じて反射率も増加する傾向が見られたためであり、143FTU では、雲量 0 の平均 $\rho_w(\text{Red})$ に対し雲量 10 の平均 $\rho_w(\text{Red})$ は約 28% 大きい値となった。そこで、暫定的に線形で定義していた *dir_dif_ratio* をべき乗で再定義した。その結果、上記反射率の差を約 27% に小さくできたものの、大幅な改善が見られず課題が残った。

基礎実験結果を踏まえ、現地でも実測した 8~117FTU(雲量 0~10)の 24 個の濁水反射率は、UAV の傾斜情報を用いて算定した。実測濁度と濁水反射率の関係から、[2]式の校正係数である A_t を最小二乗法により算定し、濁度推定モデルを構築後、濁度推定を行った。その結果、 $\rho_w(\text{Red})$ を用いた濁度推定モデルの決定係数は -0.94 から 0.86 に向上した(図-3)。同様に $\rho_w(\text{NIR})$ を用いて構築したモデルの濁度推定でも、決定係数は 0.51 から 0.76 に向上した(図-4)。Red は概ね 1 対 1 の線付近に位置しているのに対し、NIR では 100FTU 以上の濁度は 1 対 1 の線上に位置しているものの、8~80FTU の濁度では Red と比べばらついていることがわかる。これらのことから、8~117FTU の範囲の濁度推定は Red 反射率を用いたモデルの精度が高く、既往の研究の報告と一致した。

4. おわりに

本研究では、マルチスペクトルカメラを用いた濁度推定手法の精度に影響する要因を調査した。その結果、傾斜情報の精度が最も影響し、高精度の外部 IMU に置き換えることで、濁度推定精度を向上させることに成功した。本観測は水面が波立っていないダム湖で行ったが、今後は実河川の洪水時に濁度推定が可能かどうかを検証する必要がある。加えて、200FTU を超えるような高濁度領域の推定には、Red 波長または NIR 波長のどちらが適しているか検討し、より汎用的な計測手法として確立する。

参考文献

- 1) Micasense Inc.: Radiometric Calibration Model for MicaSense Sensors, <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/115000351194-Rededge-Camera-Radiometric-Calibration-Model>, 2022. (2022/2/10 閲覧)
- 2) Nechad, B., Ruddick, K.G. and Neukermans, G.: Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters, SPIE 9998, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII, pp.1-11, 2009.
- 3) Koseki, H., Yasuda, T., Yorozyua, A. and Okada, S.: Methodology to monitor the turbidity using multi spectral camera mounted on Drone, International Symposium and Exhibition on Hydro-Environment Sensors and Software, pp.218-223, 2019.

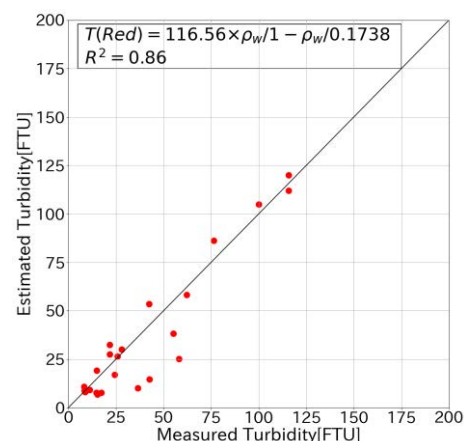


図-3 $\rho_w(\text{Red})$ を用いた濁度推定モデルの推定濁度と実測濁度の関係

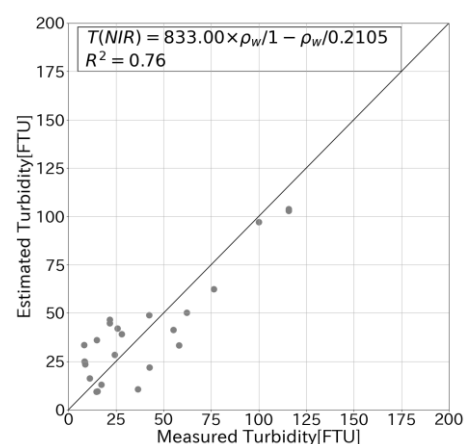


図-4 $\rho_w(\text{NIR})$ を用いた濁度推定モデルの推定濁度と実測濁度の関係