

マルチスケールに対応した河川水濁度計測技術の開発

高知高専 学生会員 ○山崎陽生 武田龍弥 正会員 岡田将治

1. 序論

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。この課題を解決する手法として、衛星画像から濁水反射率を把握する分光法がある。Nechad ら¹⁾は、光学リモートセンシングによる濁度分布の把握を目的として、濁水反射率と濁度の関係から、濁度推定式を提案している。しかし、衛星画像を用いた濁度推定は、広範囲の濁度平面分布を把握できるものの、撮影頻度が3~5日に1回程度と時系列データを詳細に把握することができないため、勾配が大きい河川が多い日本では、土砂動態を把握するのに十分なデータを得ることができない。さらに、雲のかかった状況や、川幅の狭い場所では、濁水反射率が得られず、濁度推定ができないという課題がある。これらを解決するため、小関ら²⁾は、マルチスペクトルカメラ (RedEdge-M) を搭載した UAV により空撮した近赤外面像から、水表面の濁度分布計測手法を提案しているが、同一地点で複数の濁度データや、高濁度データを取得することは困難である。そこで本研究では、簡易的な実験による濁度推定式の構築を検討するため、現地観測と、現地の堆積土砂を用いた実験を行い、それぞれで得られた濁水反射率を比較した。現地に適用可能な濁度推定モデルを構築することができれば、濁度推定がより簡易となる。さらに、衛星を用いた手法と組み合わせることで、マルチスケールに対応可能な河川水濁度計測技術を開発する。

2. 研究方法

本研究では、永瀬ダム湖の堆積土砂と巨大タライを用いた簡易的な実験、物部川流域での現地観測、並びに衛星により取得した濁水反射率を比較する。濁水反射率には、既往の研究¹⁾³⁾によって濁度との相関が高いとされる、赤波長と近赤外波長を用いる。実験では、直径110cm、深さ58cmの巨大タライに、永瀬ダム湖の堆積土砂を用いた水深50cmの濁水試料を作成し、マルチスペクトルカメラにより、濁度20~200FTUの範囲で、雲量0と雲量10それぞれ8ケースずつ反射率を取得した。また、現地観測は、洪水後の物部川流域で計18カ所を行った。実験と同様にマルチスペクトルカメラで撮影し、濁水反射率を取得した。さらに、衛星のデータには、Sentinel-2 Level-2Aのデータ(2018年~2022年)から解析した濁水反射率を用いる。これらが同じ値を示せば、簡易的な実験から作成した濁度推定モデルにより、数m程度から数10kmのスケールで、面的な濁度計測が可能となる。

3. 実験と現地観測で得られた結果の比較

現地と実験で得られた、赤波長の濁水反射率 ρ_w (Red)と濁度の関係を Fig.1 に示す。同一の条件で比較するため、雲量が0のデータのみ使用した。赤波長では、現地のデータが実験よりも、同じ濁度に対して大きい値をとっている。この要因には、水深の影響が考えられる。可視光リモートセンシングで観測する水面輝度の算出の概念として頻繁に参照される Lyzenga のアルゴリズムを式(1)⁴⁾として示す。

$$L(\lambda) = \{V + (B - V) \exp[-kh]\}TE + S + A \quad (1)$$

ここに、 L は分光放射輝度、 λ は波長、 V は無限水深での体積散乱による反射率、 B は底面反射率、 k は実行消散係数、 h は水深、 T は大気・水面の透過率、 E は水面直上での下向き放射照度、 S は水面反射分、 A は大気散乱成分である。式(1)では、水深が増加することで、放射輝度が上昇するとされていることから、水深の違いが濁水反射率に影響したと考えられる。現地と実験で得られた、近赤外波長の濁水反射率 ρ_w (NIR)と濁度の関係を Fig.2 に示す。近赤外波長では、現地と実験において、同程度の値が得られていることから、赤波長でみられたような水深増加に伴う濁水反射率の増加傾向がほとんどみられない。この要因として、Lyzenga のアルゴリズム内の消散係数の項目が挙げられる。既往の研究では、近赤外波長の実行消散係数が大きいことから、式(1)の指数関数項を無視することができるとされている⁵⁾。これらのことから、近赤外波長においては、赤波長で

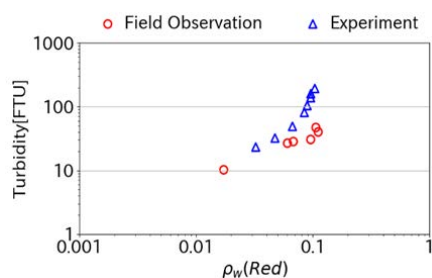


Fig1. Relation between ρ_w (Red) and turbidity measured in the Monobe River and experiments on sunny days

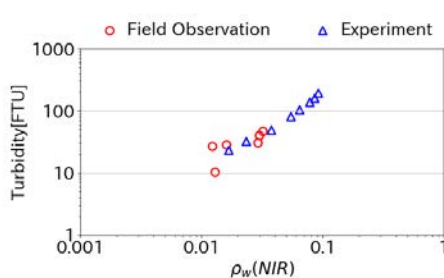


Fig2. Relation between ρ_w (NIR) and turbidity measured in the Monobe River and experiments on sunny days

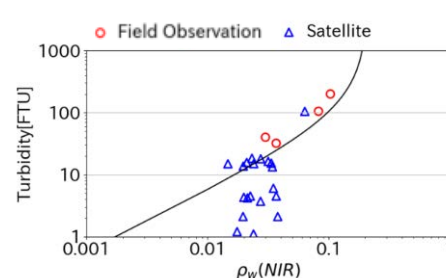


Fig. 3 Relation between ρ_w (NIR) and turbidity measured from satellite and field observation, and turbidity estimation

みられる水深変化による濁水反射率への影響を受けにくいことが明らかになった。

4. 現地観測と衛星で得られた結果の比較

物部川流域の新御在所橋にて、衛星および現地観測から得られた近赤外波長の濁水反射率 ρ_w (NIR)と濁度の関係と、衛星データから構築した濁度推定式¹⁾を Fig.3 に示す。衛星のデータは、大気補正の検討が十分に行えていないことから、ばらつきが大きく、これに加えて、現地観測によって取得したケースが4つと少ないため、単純にデータを比較することができない。そこで、衛星のデータを用いて濁度推定式を構築し、これを近似曲線とすることで、暫定的に衛星から得られる濁水反射率の傾向を把握した。Fig3 から、衛星の近似曲線上に、現地観測で得られた濁水反射率が位置していることから、2つの手法から得られる濁水反射率は同じになることが想定される。これと同様の結果が、赤波長においても得られた。よって、今後も現地観測で取得したデータの蓄積や、衛星データの大气補正等について検討する必要があるものの、2つの手法から同じ濁水反射率が得られることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、現地観測と、現地の堆積土砂を用いた実験を行い、それぞれで得られた濁水反射率を比較した。さらに、現地観測と衛星データの解析から得られた濁水反射率の比較を行った。その結果、近赤外波長では水深変化の影響をほとんど受けなかったが、赤波長では、水深が増加すると、同じ濁度に対する濁水反射率が増加する傾向が見られた。このことから、近赤外波長は、現地に適用可能な濁度推定モデルを実験により構築できる可能性を示したものの、赤波長では、現地観測データが必要であることが明らかになった。また、現地観測と衛星画像により得られる濁水反射率がおおむね同じであることから、同じ濁度推定式を使った、リモートセンシングによる時空間的に詳細な濁度の把握が可能となった。今後の展望として、現地におけるマルチスペクトルカメラの定点観測化の検討により、衛星では把握できない時系列データの補完をより容易にする。

参考文献

- 1) 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, Ecosystem, and Hydrology XVIII, 7473, 74730H (2009), pp.1-11.
- 2) Koseki, H., Yasuda, T., Yorozuya, 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, (2019), pp.218-223.
- 3) Dogliotti, A.I., Ruddick, K.G., Nechad, B., Lasta, C., Mercado, A., Hozbor, C., Guerrero, R., Lopez, G.R. and Abelando, M., Calibration and validation of an algorithm for remote sensing of turbidity over La Plata River estuary, Argentina., EARSel eProceedings, **10**, 2 (2011), pp.119-130.
- 4) 神野有生, 鯉淵幸生, 磯部雅彦, 水・大気の均質性仮定を緩和した可視近赤外画像による水深予測アルゴリズム, 水工学論文集, **54**, (2010), pp.1117-1122.