

第Ⅱ部門

MEMに基づく鉛直流速分布の推定と流量観測の高度化

神戸大学工学部 学生会員 ○濱田 拓也 神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎
神戸大学大学院工学研究科 学生会員 谷 昂二郎

1. はじめに

近年、流量観測を目的とした表面流計測手法として、STIV(Space-Time Image Velocimetry)などの画像計測手法が、安全性・経済性などの観点から注目を集めている。表面流速から流量推定を行う際には、流速分布を仮定し、平均流速に換算するのが一般的である。しかし、近年の大規模な洪水・氾濫等の増加を受け、正確な流量把握の重要性は増しており、より正確な流量推定手法が必要になると考えられる。そこで本研究では、流速分布を仮定し更正係数を一意に定める従来の手法に替えて、最大エントロピー法(MEM; Maximum Entropy Method)に基づく流速分布推定式を用いて表面流速場から流量推定を行う手法を提案する。新潟県の魚野川において実施したSTIVによる表面流速観測にMEMを適用し、同箇所で開催されたADCPの曳航観測による速度場との比較を行い、本手法の有用性について検討を行った。

2. MEMに基づいた鉛直流速分布推定式

MEMに基づいた鉛直流速分布推定式は、1987年にChao-Lin Chiuによって発案されたものであり、本研究ではTommaso Moramarco¹⁾により簡便な定式化を行ったものを用いた。流速のエントロピーをある制約のもとに最大化することで以下の流速分布式が得られる。

$$u(x_i, y) = \frac{u_{maxv}(x_i)}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{y}{D(x_i) - h(x_i)} \exp \left(1 - \frac{y}{D(x_i) - h(x_i)} \right) \right] \quad (1)$$

ここで、 $u_{maxv}(x_i)$ ：側壁から*i*番目の検査線上の最大流速、 M ：エントロピーパラメータ、 $h(x_i)$ ：水面から最大流速発生地点までの距離(velocity dip)、 $D(x_i)$ ：水深である。エントロピーパラメータ M は鉛直方向の最大流速と平均流速の比から以下のように決定する。

$$u_{mean} = \left(\frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \right) u_{max} = \Phi(M) u_{max} \quad (2)$$

ここで、 u_{mean} ：鉛直方向の平均流速、 u_{max} ：鉛直流速分布の最大流速である。既報¹⁾によると、このエントロピーパラメータ M の値は、ある河川において、どの横断面を切り取るかに拠らずほぼ一定の値に決まるということが示されている。つまり、ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler：超音波ドップラー流速計)等により計測した鉛直流速分布よりパラメータ M を一度算出すると、その値をある河川においての固有のパラメータ M として決定することができる。

3. 対象河川

本研究では、新潟県を流れる一級河川、信濃川の主な支流のひとつである魚野川を対象とした。観測は2014年4月24日から26日の3日間に新潟県魚沼市堀之内地区根小屋橋付近で実施した。ADCPによる曳航観測およびSTIVによる画像計測をほぼ同時刻に実施した。



図-1 根小屋橋観測地点

4. パラメータの決定

流量推定にあたって、まずはパラメータ M の決定を行った。パラメータ M の値は各河川で固有の値であるという特性から、信濃川で ADCP により定点観測した鉛直流速分布を用いた。計 6 回行った観測のうち、1 回目に行った観測により得られた鉛直流速分布を図-2 に示す。この流速分布が示す最大流速は 3.56m/s で、平均流速が 2.76m/s である。この値から算出されるパラメータ M は式(2)を用いて 4.49 となる。他の 6 回の観測に関しても同様にパラメータ M の算出を行い、これらの平均より得られた 4.82 を魚野川のパラメータ M の値と決定した。

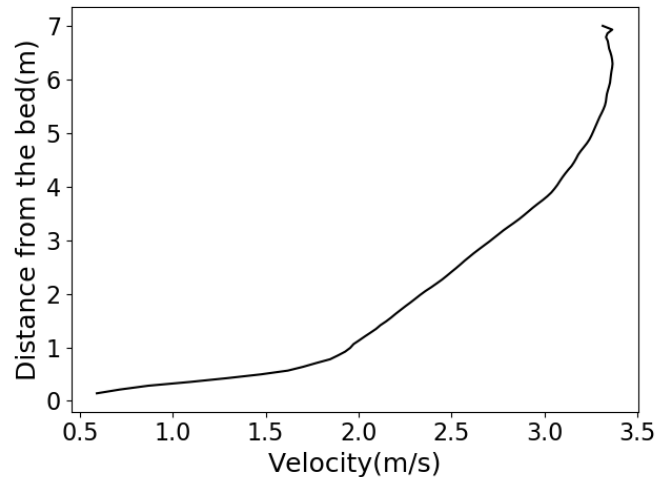


図-2 鉛直流速分布

5. 流速分布及び流量の推定

ADCP で測定した流速分布を図-3 に示す。これを真値とし、推定した流速分布と比較する。式(1)に前章で決定したパラメータ M 及び STIV による画像計測で求めた表面流速を適用することで流速分布の推定を行った。結果を図-4 に示す。図-3 の ADCP による観測と図-4 の推定した流速分布はほぼ同様の分布が得られていることが確認できる。ADCP の観測流量は、水位の変化がほぼなかった同日の間に観測した 8 データの平均値を取り、 $260.6\text{m}^3/\text{s}$ であった。それに対して、STIV で計測した表面流速より MEM に基づいて推定した流量は $279.2\text{m}^3/\text{s}$ となった。両者の相対誤差は 7.1% であり、非常に精度の良い推定ができたといえる。

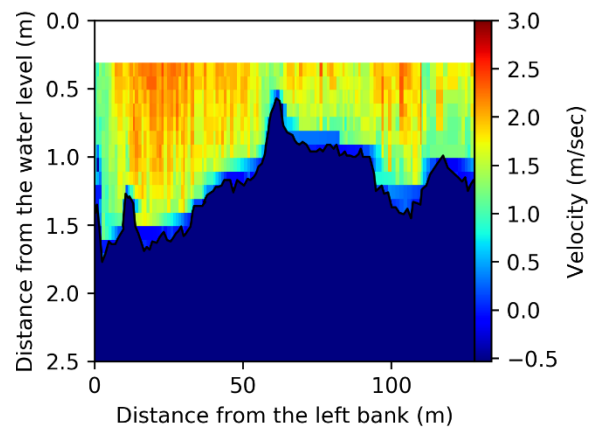


図-3 ADCP で観測した流速分布

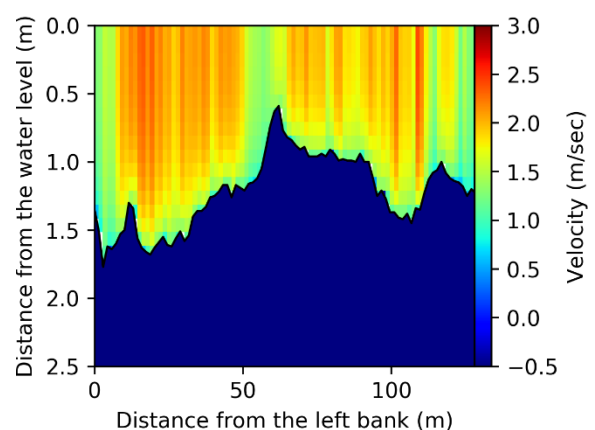


図-4 推定した流速分布

6. おわりに

本研究では、魚野川において STIV により測定した表面流速より MEM に基づく手法で流速分布及び流量の推定を行ったところ、非常に精度の良い推定が可能であることが確認できた。今後は他の河川で同様に高精度な推定が可能かどうか検討するとともに、パラメータ M と底面粗度などの諸量との関係についての検討を予定している。

参考文献

- 1) Tommaso Moramarco, Silvia Barbeta, and Angelica Tarpanelli : From surface flow velocity measurement to discharge assessment by the entropy theory, 2017