

第II部門

最大エントロピー法に基づく流量観測の高度化

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、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、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。新潟県の信濃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 Moramarco ら¹⁾が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 は流れ場全体の最大流速と平均流速の比から以下のように決定する。

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

3. MEM の流速分布の再現性

MEM に基づいた鉛直流速分布推定式の特徴の一つは、河床から水面までの全体の流速分布を単一の式で示せる点にある。これはべき乗則でも可能なことである。しかし、主な流速分布式であるべき乗、対数則はともに速度勾配が水面付近で必ず正の値をとる。そのため、水面付近で速度勾配がほぼ 0 に近いよう分布や負の値をとる velocity dip の現象を表すこと不可能である。それに対して、MEM による方法は、パラメータ M と velocity dip の量を与える値である二つの値を正しく与えることで、velocity dip を含むより様々な流速分布計を示すことができる。

ここで、MEM による方法が、一般的な対数則とベ

き乗則を再現できるのか検証した。対数分布($ks/H=0.1$ のとき)は $M=5.5$, $h/H=-6$, べき乗分布($N=1/7$)は、 $M=8$, $h/H=-9$ とすると、velocity dip の仮想点を水面よりかなり上方に設定する必要があったが、おおむね分布を再現できた。

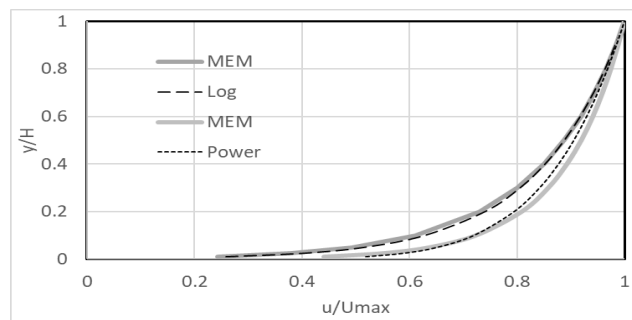


図-1 MEM の再現性

4. 流速分布及び流量の推定

実際に、河川横断面の流速分布及び流量を推定した例を示す。対象河川は新潟県を流れる一級河川の信濃川とした。本研究では、2017年4月に本河川の旭橋観測地点の橋梁上部にてADCPにより観測した横断面の流速分布及びそれと同時刻に撮影した河川表面の動画よりSTIVで推定した表面流速を用いる。

推定にあたってまずはパラメータ M を決定する。図-2にADCPにより観測した横断面の流速分布を示す。この流れ場は、平均流速が 1.17m/s 、最大流速が 3.15m/s を示しており、これらの値を式(2)に用いることで、信濃川で用いるパラメータ M は 1.17 と決定できる。このパラメータを用いて、STIVで求めた表面流速より推定した横断面の流速分布を図-3に示す。図中には、破線で velocity dip が発生している点を示す。これを見ると、MEMによる方法では、横断面内流速分布を良好に表現していることが分かる。同様に、STIVの表面流速を、べき乗則($N=1/7$)で鉛直流速分布を仮定した際に得られた流速分布を図-4に示す。また、鉛直流速分布を対数則に近似させるDIEX法で推定した流速分布を図-5に示す。ADCPは曳航観測で瞬間値であるため流速値が不安定であるが、時間平均した流速分布を得た場合、MEMによる推定は精度よく推定できたと考えられる。また、流量に関しては、ADCPによる観測値が $755.0\text{m}^3/\text{s}$ であり、これを真値として扱う。これに対して、MEMにより推定した流量が $791.7\text{m}^3/\text{s}$ 、べき乗則が $880.0\text{m}^3/\text{s}$ 、DEX法が $855.6\text{m}^3/\text{s}$ 、更正係数 0.85 で区分求積により求めた流量が $847.7\text{m}^3/\text{s}$ と算出できた。この結果より、MEMによる推定が誤差 4.9% と最も精度のよい推定ができたと言える。

6. おわりに

本研究では、信濃川で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

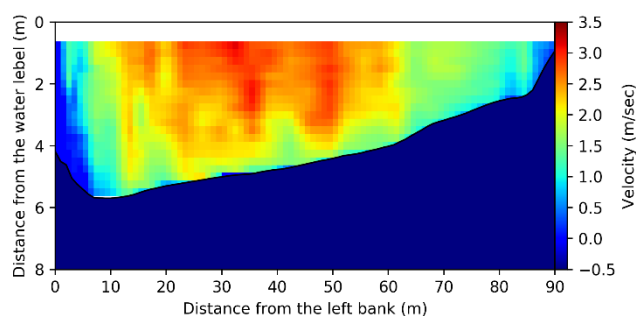


図-2 ADCPによる流速分布

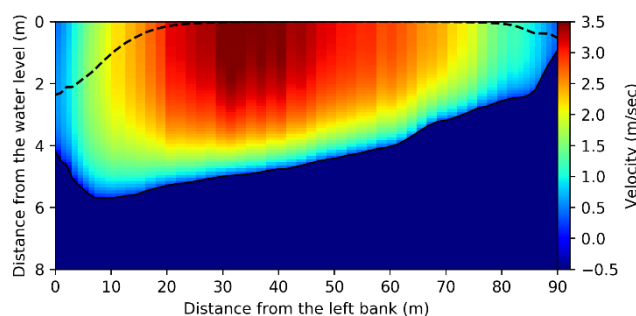


図-3 MEMによる推定

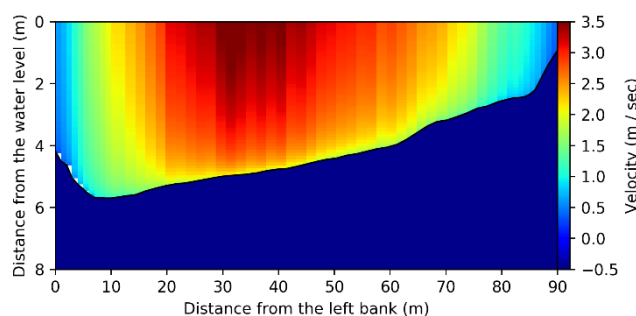


図-4 べき乗則による推定($N=1/7$)

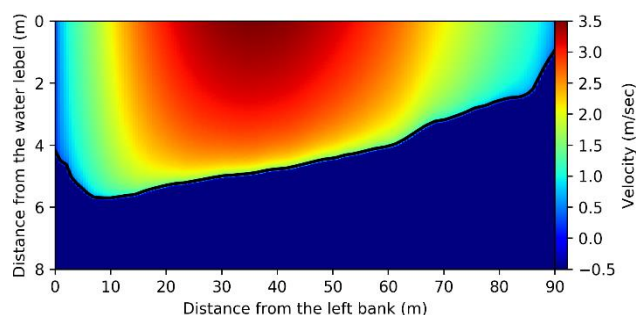


図-5 DIEX法による推定