

画像を利用した 洪水流量観測手法に関する研究

名古屋大学大学院 工学研究科 准教授
椿 涼太

1

内容

- ・ 0. はじめに
- ・ 1. カメラレンズによる幾何補正（光学的幾何補正）の技術開発
- ・ 2. 複数カメラを組み合わせた新たな観測手法の開発
- ・ 3. 可視化洪水流量観測用のスマートフォンアプリ開発
- ・ 4. おわりに

2

0. はじめに

- ・ 洪水流量観測は、河川管理上の重要な業務であるが、浮子法による流量換算は出水後に行われ（約1年後に確定となり）、また、中小河川で観測自体はほとんど行われていない。
- ・ リアルタイムに流量計測値が取得できれば、その情報は直接、水防などの判断に役立ち、また洪水予想計算に利用することで洪水予測の精度向上・精度確保に役立つ。
- ・ 治水安全度が相対的に小さい中小河川でも展開可能な流量観測技術の普及は、中小河川の危機管理と河川計画の両面で価値がある。
- ・ 途上国まで視野を広げると、大河川であっても流量観測の時空間的な密度は低く、そのことが、短期的および長期的な洪水の対応策の検討を難しくしている。

3

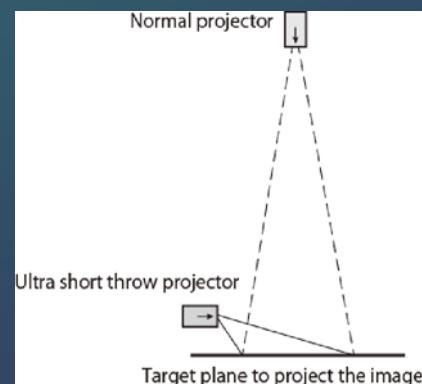
はじめに

- ・ 無人で連続計測可能な、画像計測にもとづく河川流の計測は、これらの課題を解消する方法であり、今後の普及が見込まれる。
- ・ 本研究では、特に画像を利用した洪水流量観測手法に着目し、画像を取得するカメラの配置の制限や、流れ特徴により、洪水流量算定の誤差が大きくなる状況での対応策を検討する。
- ・ 具体的には、三つのサブテーマを推進する。

4

1. カメラレンズによる幾何補正 (光学的幾何補正) の技術開発

5



超短焦点プロジェクターという製品がある。これは、壁面の真下に置いて、壁面に画像を投影するというもので、部屋のスペースを有効活用しようというものである。これを壁ではなく水平面に使うというのが本サブテーマの基本的なアイデアである。

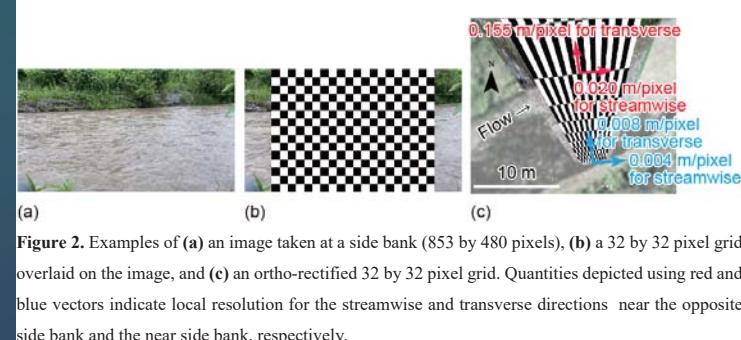


Figure 2. Examples of (a) an image taken at a side bank (853 by 480 pixels), (b) a 32 by 32 pixel grid overlaid on the image, and (c) an ortho-rectified 32 by 32 pixel grid. Quantities depicted using red and blue vectors indicate local resolution for the streamwise and transverse directions near the opposite side bank and the near side bank, respectively.

通常の可視化流量計測は左のような画像をとる。これを幾何補正すると右の図のように実質的な解像度が変化する。横断方向にとくに引き延ばされる。STIVはこの横断方向に引き延ばされるということを回避する方法（そのため、橋から流れに並行に画像を撮影する際にはこの点に少し気をつけてほしい）

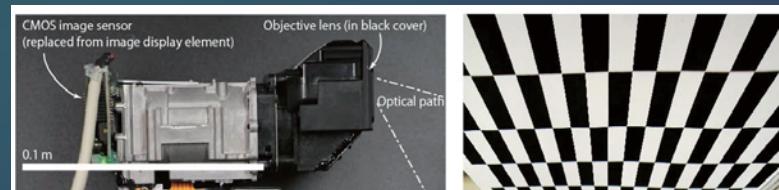
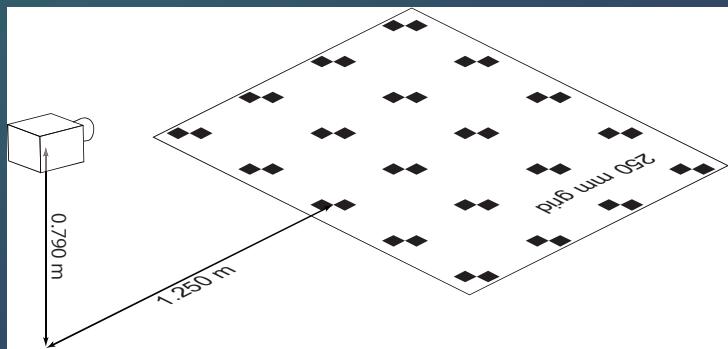


Figure 4. The optical system used in this study (left) and the image of the regular grid located in front of the camera (right).

超短焦点プロジェクターを分解して、光学系をとりだす(左)。プロジェクターの場合は光学系の後ろに映像素子と光源がある。これらの代わりに、イメージセンサーを置いて、カメラとして使う。

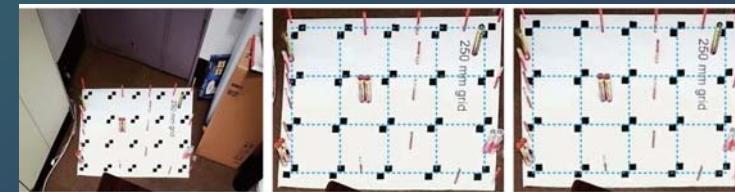
この装置の真正面にグリッドを置いて撮影すると、右の画像のようにゆがんだ画像がえられる(普通のカメラではグリッドがそのまま撮影される)。





超短焦点プロジェクターの特徴を活かして、上の図のように平面に配置したグリッドを斜めから撮影する。

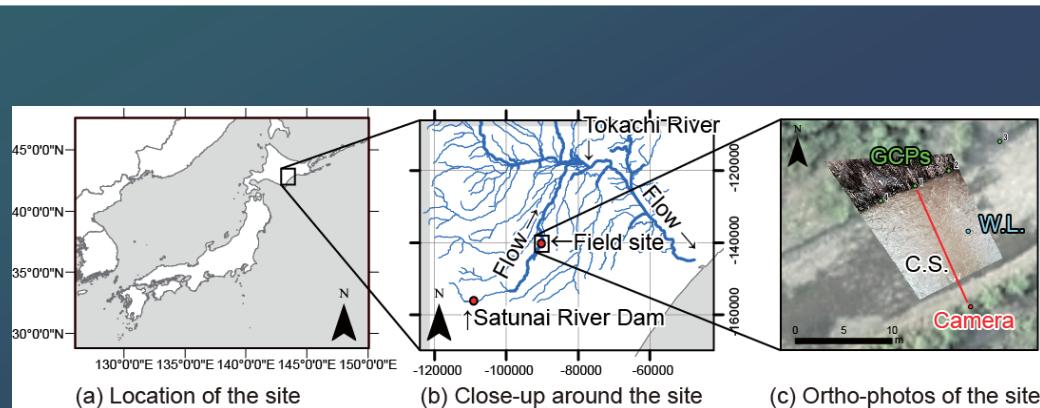
Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946



左が、撮影した画像であり、斜めから撮影しているけど、床に置いたグリッドは撮影画像の段階で、だいたい正しく撮影されている。（周りの箱や壁などの立体的形状はゆがんでいる。）

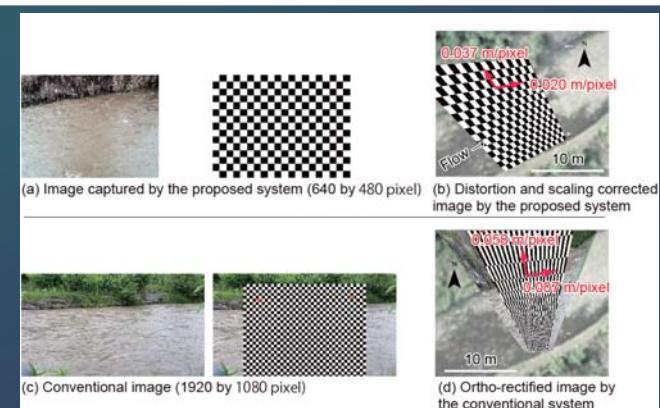
うまく設置すれば、後は長さスケールの補正だけすればよい。
現地計測を考えると、多少のゆがみ補正を前提としたほうが現実的で右端はゆがみ補正をしたもの。（自動レベルのように姿勢を制御することも一つの方向性である。）

Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946



現地計測の位置図

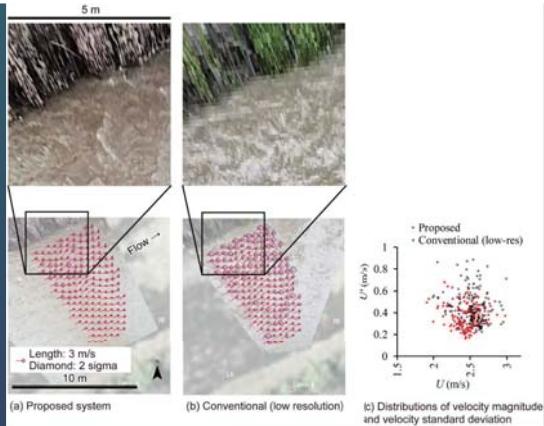
Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946



上段が提案手法の画像、下段が従来カメラの画像。
右側をみると、上段でもグリッドがゆがんでいるが、下段の従来手法のゆがみ具合とくらべると、ゆがみは少ない。

Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946





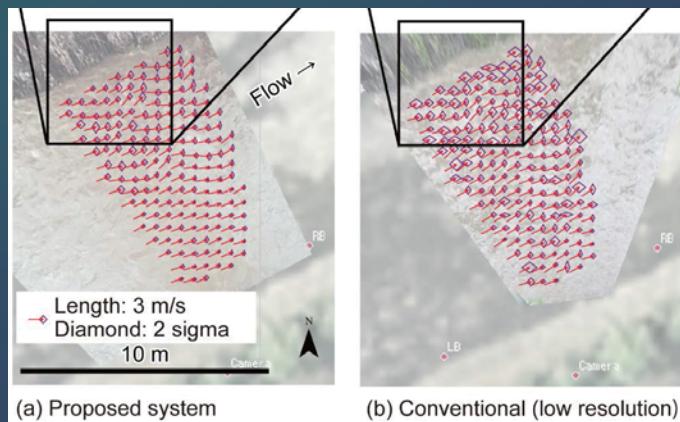
左側が提案手法の結果、中央が従来カメラの結果。

Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946



左が提案手法の結果、右が従来カメラの結果(一つ前のページの上段の拡大)。右は、水面の模様がガクガクしているが、左はそうでもない。幾何変換による解像度低下の効果である。通常はピクセル補間によって、なめらかな画像になるのでこのことに気づきにくいが、情報密度が下がっていることはピクセル補間ではどうにもならない。

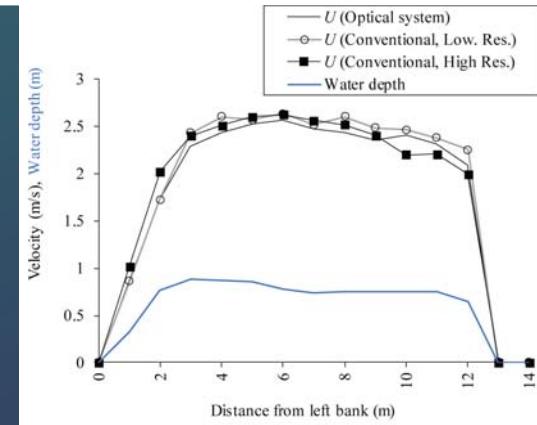
Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946



左が提案手法の結果、右が従来カメラの結果(一つ前のページの上段の拡大)。

矢印は平均流速ベクトルで、紫色のひし形は、流速成分の標準偏差をあらわす。同じ場所をとっているけど、標準偏差の分布が違う。従来カメラの方が標準偏差がやや大きい。(平均流速はあまり変わらない)遠方では横断方向に流速がうねっている。これは恐らく水面の起伏の影響である。

Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946



横断流速分布を比較してみると、あまり変わらない。

Frontiers in Water | doi: 10.3389/frwa.2021.700946



まとめ

- ・幾何補正を光学系で対応すると解像度の問題を緩和できる
- ・解像度の影響は緩和されるが、平均流速はあまり変わらない。変動強度がちょっと小さくなる。
 - 変動強度は水深や表面流速の校正係数決定のための情報として応用が可能である。
- ・水面形の起伏の影響はのこる。
- ・水面形の起伏の影響の対処については、複数角度から画像を撮影して、最小二乗的に処理する方法 (Tsubaki, Meas. Sci. Technol. 2020, サブテーマ2)が一つの方法
- ・水面形の起伏の影響を誤差と考えずに、起伏のスケールから、水深や河床の状態などを類推するという方向性も重要



2. 複数カメラを組み合わせた新たな観測手法の開発

Ryota Tsubaki, 2020, Multi-camera large-scale particle image velocimetry, *Measurement Science and Technology*, Volume 31, Number 8, 084004, doi: 10.1088/1361-6501/ab85d5

18

基本的なアイデア

- ・1章では、カメラレンズの工夫で、画像の‘解像度’の不均一性を対処した。
- ・2章では、複数のカメラで撮影し、それぞれの画角で相対的に画像が高分解能であり、高精度な計測ができる方向の速度成分を使い（右図の例では a_i と a_{i+1} ）を使って、速度ベクトル b を算定する。

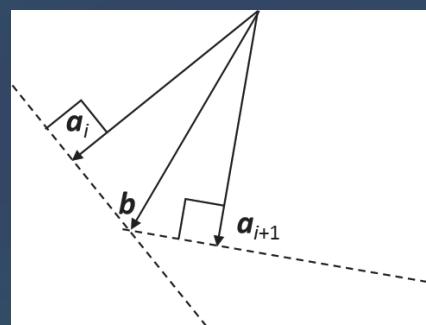
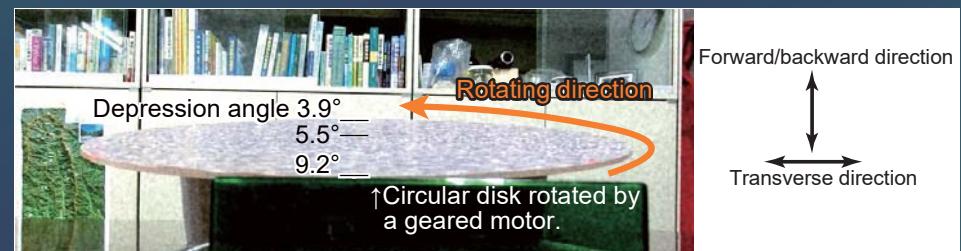
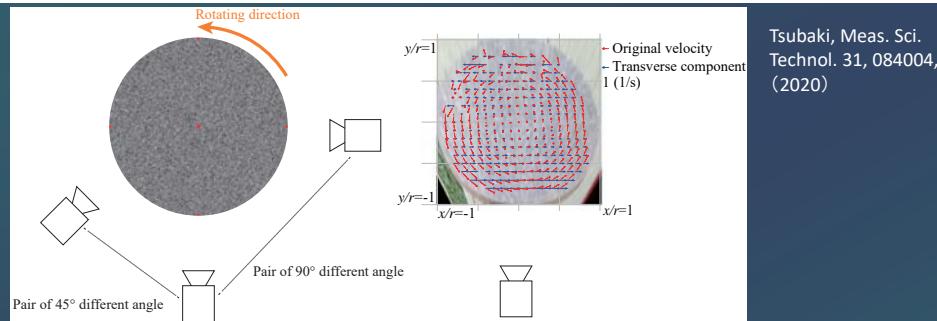


図2.3. ベクトル b と a_i の関係

図2.4. 回転円盤の動画からのサンプル画像。直径0.25mの円盤に平滑化したガウシアンノイズパターンを貼り付けました。円盤は円盤の下に設置された歯車付き電動機により一定の角速度で回転する。





Tsubaki, Meas. Sci.
Technol. 31, 084004,
(2020)

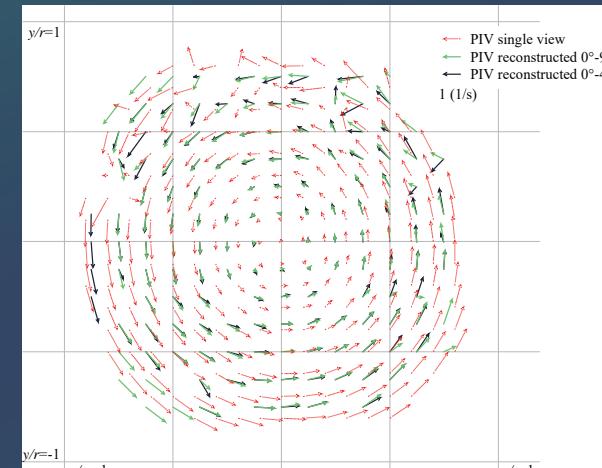
(a) 45° と 90° の角度が異なる2組のカメラの模式的な平面図

(b) 元の速度分布（細い破線ベクトル）から抽出された横方向速度成分（太い実線ベクトル）の分布

図2.6. 45° と 90° の角度のペアを作るカメラの組み合わせ
(a) と,抽出された横方向の速度成分分布 (b)

21

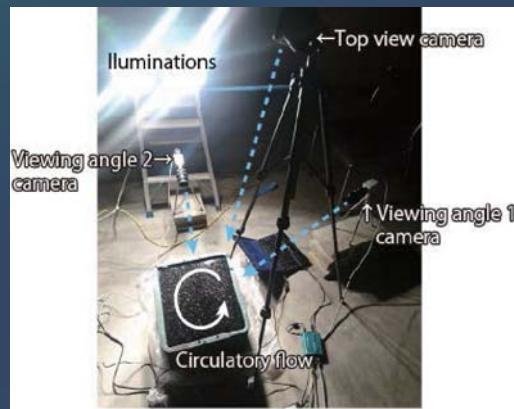
図2.8. 45° と 90° のペアから再構成された2次元の速度分布と流れ場



Tsubaki, Meas. Sci.
Technol. 31, 084004,
(2020)

22

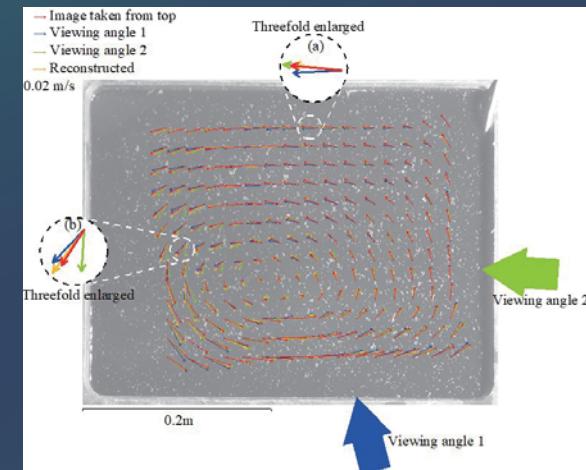
図2.9. 循環流実験のセットアップ. Angle 1 と Angle 2 の俯角はそれぞれ約 18° と約 14° であった.



Tsubaki, Meas. Sci. Technol. 31, 084004, (2020)

23

図2.10. 上から撮影した画像（赤矢印）, Angle 1 (青矢印, 図の下から撮影した画像), Angle 2 (緑矢印, 右から撮影した画像), Angle 1とAngle 2から再構成した速度 (オレンジ矢印) の流速ベクトル.



Tsubaki, Meas.
Sci. Technol. 31,
084004, (2020)

24

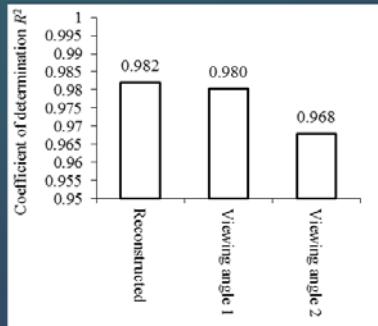


図 2.11. 3つの速度分布の決定係数(R^2)

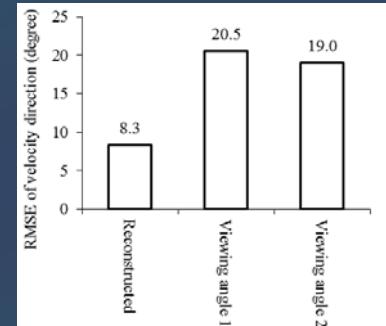
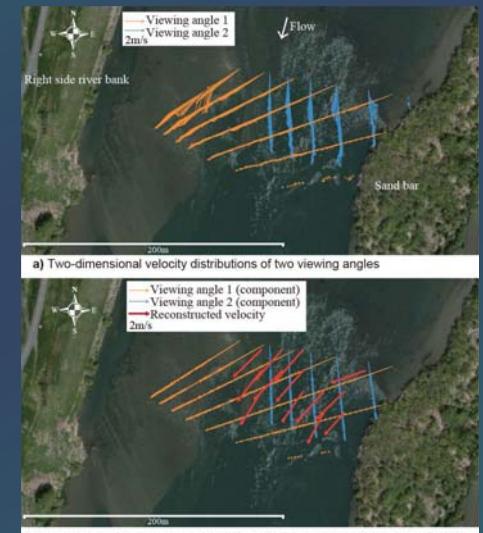


図2.12. 3つの速度分布に対する速度方向のRMSE(平均二乗誤差)

Tsubaki, Meas. Sci. Technol. 31, 084004, (2020)

25



Tsubaki, Meas. Sci. Technol. 31, 084004, (2020) 26

本章のまとめ

- 複数の視野角から得られた画像より得た低精度の速度分布データを組み合わせ、より精度の高い2次元速度分布を再構成する新しい方法を提案した。
- 剛体回転円盤実験と循環流実験のそれぞれで、低俯角画像から算出される速度分布の誤差の基本的な特性を調べた。
- 提案手法を、俯角が非常に小さいために、標準的なLSPIVでは流れの特徴がうまく抽出できない現地観測でえられた画像に適用した。提案手法を用いることで、流れの特徴を抽出することに成功した。

27

今後の展開1. 精度による重み付け

- 提案手法はシンプルであり、いくつかの発展の余地がある。
- まずは、低俯角から得られた画像にLSPIVを適用して得られた結果の不確かさについて、さらなる基礎的な検討により理解を深めることが必要である。
- このような定量的な不確かさの評価に基づき、より高度で堅牢な速度場再構成法が開発できると考えられる。

28

今後の展開2. 瞬間値とSTIV

- ・本章では、平均速度場を得ることに焦点を当てた。しかし、提案手法は、平均速度場だけでなく、瞬時速度分布の復元も原理的には可能である。
- ・LSPIVの代わりにもともと一速度成分を抽出するSTIVを利用した複数カメラアプローチも、有望な研究の方向性の一つと考える。

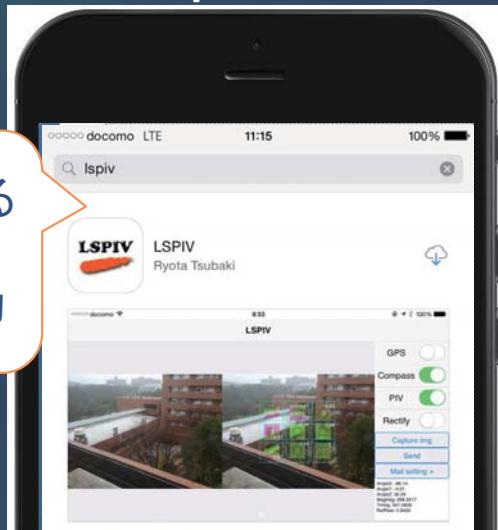
29

3. 可視化洪水流量観測用のスマートフォンアプリ開発

30

Open to the public

Apple App Storeある
いはGoogle Play
StoreでLSPIVと入力



31

三つの基本画面



32

プレビュー画面

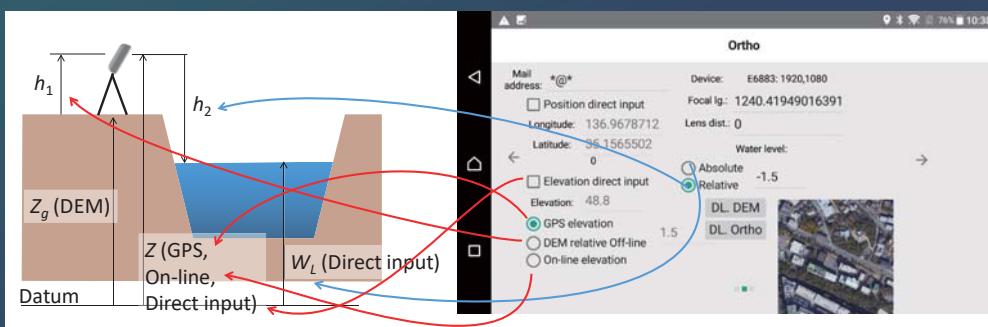


33

標高分布データとオルソ画像のダウンロード



図3.3. 設定できるカメラ標高および水位設定方法



- デバイスの高さはGPSでは精度が出ないので、別途計測した標高を与えるか、DEMから地盤高さを出して、そこに地面からデバイスの高さを与えることで精度を確保する。

35

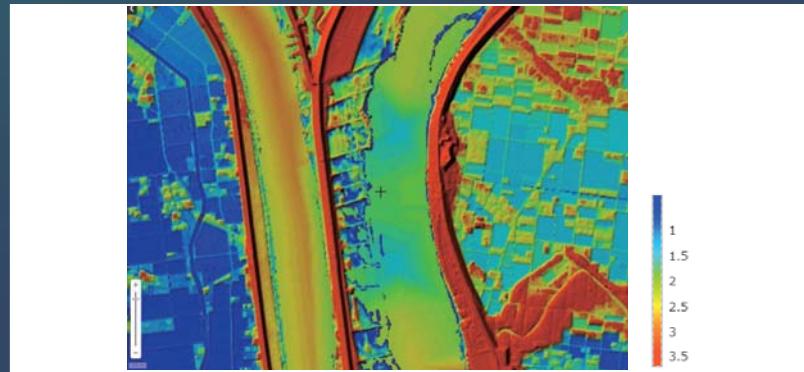
オルソ画像を用いた座標調整

- オルソ画像を読み込むと、アプリ内でカメラ画像を幾何補正した結果が、オルソ画像上にオーバーレイされる。
- カメラと水面との高さの誤差や、GPSによる位置も若干ずれがみられる場合がある。Rectifyスイッチをonにして表示されるFixBackスイッチをonにすると、幾何補正された画像の位置やサイズをスワイプおよびピンチ操作で調整することができる。



36

図3.4. 地理院地図で表示した木曽川・長良川の標高分布



37

河川シンポでDX

(2) 特定課題2：河川管理のDXに関する研究・技術開発
近年、ICTやAI、VR、クラウドなどのデジタル技術の進展が目覚ましく、あらゆる業種においてこれまでにない新しい製品やサービスが登場してきています。河川分野においても定期横断測量におけるALBの活用、直轄工事のBIM/CIMの原則化（2023年度目標）、3次元管内図の全河川運用開始（2025年度目標）など、新たな技術を活用した河川管理の効率化や高度度を図るデジタルトランスフォーメーション（DX）の動きが始まっています。地形計測では、ドローン搭載型グリーンレーザースキャナにより高密度で陸上・水中の同時計測が可能となり、BIM/CIMによる設計、ICT施工に加えて、川づくりの計画段階における活用も進んでいます。高密度な3次元地形データは河川環境や景観の評価、流れや河床変動の実態や堤防変状の把握等に活かされ、洪水観測技術や地中探査技術の高度化もあいまって、これまで把握できなかった河川の変化がより鮮明に見えるようになってきています。また、カメラ画像やセンサ技術を活用した洪水観測や人工衛星を活用した4次元でのモニタリングなど新たな試みも行われています。
しかし、これらの変革はまだ始まったばかりで、今後もデジタル技術が日々進化していく中で、河川管理の現場も進化する必要があることから、本特定課題ではこれらの新しい技術を現場で活用した事例、新たなモニタリング方法の提案、新たなデータを用いた解析・予測技術の高度化につながる研究、知見の蓄積や技術者間での技術の継承、産官学連携の強化に向けた取り組み事例など、河川管理の現場での技術の革新と活用に繋がる報告・論文を広く募集します。

38

目指すところ：だれでも手軽に河川流量観測

- ・ 設定項目ができるだけ減らす。
 - そもそも、むずかしくエラー要因となることもある幾何補正をデバイスのセンサ情報を使って自動化するということが、LSPIVアプリの最重要的なコンセプトである。
 - 今回、標高やオルソ画像を準備せずに使える様になった。
- ・ 流量完全については断面形情報が課題である。
 - 水位
 - ユーザーインターフェースで多少対応可能（バーチャル水位標）
 - 河床高さの分布
 - ALBデータが全国的にシームレスに整備されることに期待。
 - 流速データから水深を換算する方向性も重要（途上国や大河川）。

39

4. おわりに

40

まとめ

- ・画像を利用した洪水流量観測手法について、三つのサブテーマを設定して研究開発を実施した。
- ・画像を用いた流量観測における、幾何補正の高度化と平面流速分布の高精度な取得を軸として、幾何補正の問題を解消する技術開発（サブテーマ1、2）と、流量観測を簡便に行うアプローチの提案（サブテーマ3）を進めた。
 - 複数カメラを用いるサブテーマ2の手法は、スマートフォンを利用するサブテーマ3のアプローチに統合可能である（実装はまだできていない）。

41

提言

- ・どこでも手軽に流量計測を行うために、横断面形（河床形状）の情報が必要であるが、どこでもだれでもアクセスできるような状況にはない。
- ・河床形状を含めた標高分布の整備と公開が待たれる。
 - 魚釣りや舟運、レジャーなどへの利用とセットで公開するとよいだろう。
- ・河床形状そのものも手軽に計測できる技術の開発（ハード＆ソフト）と普及も待望される。

42