

第67回(2023年度) 北海道開発技術研究発表会論文

# デジタルカメラ映像の画像解析による簡易水位 推定手法

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○岸寛人  
永長哲也

救急排水ポンプ設備の運転判断のための水位確認は、近隣の電気工務店等の技術者や樋門操作員の目視により実施している。しかし、今後特に地方部の人口減少が進むことにより技術者を確保できなくなる恐れがある。また近隣都市から技術者を呼ぶ場合、移動に時間を要し内水被害の危険が高まる可能性がある。そこで水位情報の迅速な提供に向け、Webカメラ等で取得した映像を画像解析し簡易に水位を推定する手法を考案し作成した。

キーワード：水位確認、画像解析、省力化

## 1. はじめに

河川ポンプ施設の1つである救急排水ポンプ設備は可搬式のコラム形水中ポンプにより支川の水位上昇を軽減する施設であり、近年の集中豪雨等の増加で重要性が高まっている。

救急排水ポンプ設備の運転判断のための水位確認は、通常量水標を近隣の電気工務店等の技術者や樋門操作員による量水標の目視観測により実施している。しかし、今後特に地方部の人口減少が進むことにより技術者を確保できなくなる恐れがある。また近隣都市から技術者を呼ぶ場合、移動に時間を要し内水被害の危険性が高まる可能性がある。また水位確認作業は夜間や暴風雨などの状況下で行うこともあり危険や苦渋性を伴う場合もあり、安全性の向上や苦渋性の軽減に資する手段が必要と考える。

量水標の目視観測によらない水位観測手法として、フロート式、圧力式、超音波式等の水位計<sup>1)</sup>があるが、専用の機器およびそれらを設置するための工事が必要となる。これに対し、既存のCCTV等で撮影される量水標の画像を利用し、画像解析により水位を計測する技術は、ソフトウェアで対応できるものであり様々な手法が開発されている<sup>2)3)4)</sup>など。しかし、CCTVの設置位置からは量水標が見えにくく画像上では詳細に水位を確認できない場合もある。

そこで一般的なデジタルカメラを使用した簡易かつ安価な機器構成と、設定作業等の簡便さに主眼を置き、画像解析により水位を推定する手法を考案、作成した。

## 2. 手法概要

本手法は、デジタルカメラと小型PCで構成し、量水標の画像のみから水位を推定することを想定している。画像データは、画像の左上を原点とした各座標にRGB値の色情報が格納されている。本手法はこの画像の縦方向座標（以下、「y座標」という。単位：pixel）と樋門等に設置されている量水標の目盛等（以下、「量水標の目盛」という。単位：m）を対応させ、水面が画像上のy座標のどこに位置しているかを検出することで、実際の水位（単位：m）を推定するものである。これを実現するため、初期設定用プログラム、水面検出・水位推定プログラムを作成した。プログラムの作成にあたっては、実際の現場で使用されることを念頭に、極力直感的に使用できるものを検討した。

### (1) 初期設定用プログラム

量水標を撮影する際、カメラの設置位置は量水標より高い位置になると想定される。高い位置から見下ろすように撮影する場合、遠近法により画像上の目盛の間隔はカメラに近いほど広く、遠いほど狭く見える。このため画像上のy座標と量水標の目盛を対応させる必要がある。そこで、画像中の量水標の任意の5つの目盛をクリックし、クリックした目盛の数値を手入力することで、画像のy座標から実際の目盛に変換するプログラムを作成した。設定用プログラムの動作を以下に示す。

- 1) 動画を読み込む。
- 2) 最初のフレームの画像が表示される（図-1(a)）。
- 3) 図-1(a)の黄色破線のように、実際の目盛の上端から下端が映るよう画像切り出し範囲を設定する（ユーザ作業：図-1(a)の矢印のように、切り出す範囲の

- 「左上」および「右下」の2点をクリックする)。
- 4) 図-1(a)のウィンドウが消え、3)で切り出した画像が表示される(図-1(b))。
  - 5) 図-1(b)に示す矢印のように、画像中の量水標の任意の5つの目盛をクリックする(ユーザ作業)。  
→5つのy座標が保存される。
  - 6) 5)でクリックした量水標目盛の数値を入力する(ユーザ作業)。  
→5つの量水標目盛の数値が保存される。
  - 7) 5)、6)で保存されたy座標と量水標の目盛の数値を関係づける回帰曲線(図-1(c))が表示され、回帰式の係数がCSVファイルに出力される。

この初期設定用プログラムについてユーザが実施する作業は、「7回のクリック」と「5つの数値入力」のみであり、作業負担は小さい。また、一度この設定を行えば、カメラ位置が変化しない限り画像から水面位置を検出できる。

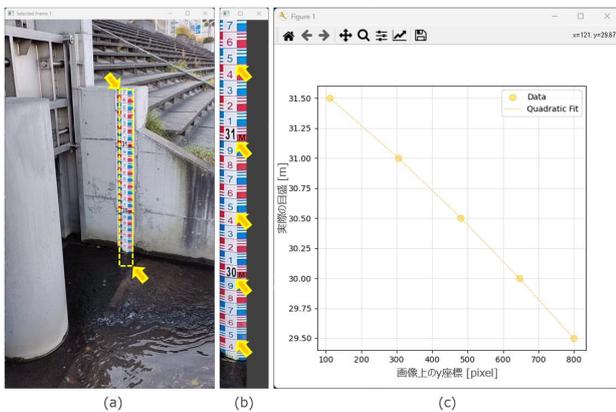


図-1 設定画面表示例

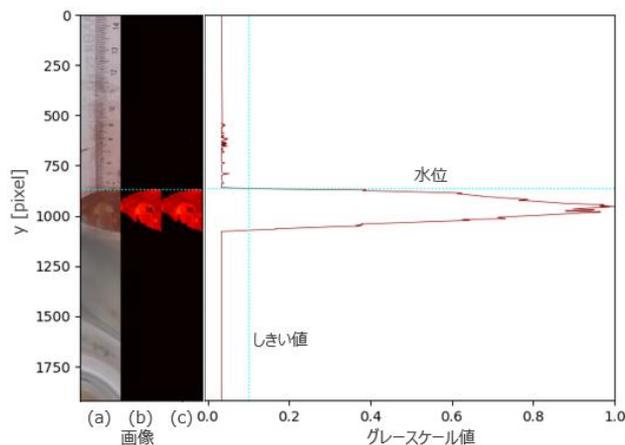


図-2 水面検出と水位推定例

## (2) 水面検出、水位推定プログラム

図-1(a)の画像のように、水の色と構造物の色には差異がある。このことを利用し、動画に映る水面を検出し、色の境界から水位を推定するプログラムを作成した。色情報をもとに物体検知等を行う場合、HSV色空間(以下、

「HSV」という)が利用されることが多い。HSVとは、色相(Hue)、彩度(Saturation)、明度(Value)の3要素からなる色空間であり、明るさが変動する場合に特定の色を抽出するのに有利とされている。そこでまずHSVを利用した水面検出手法を作成した。水面検出から水位推定までのプログラム動作を以下に示す。

- 1) 読み込まれる動画から1つのフレームの静止面を抽出する。
- 2) 1)の処理画像を、(1)の3)で設定した画像切り出し範囲で切り出す(図-2の画像(a))。
- 3) 2)の処理画像をRGB色空間(以下、「RGB」という)からHSVに変換する。
- 4) HSV変換画像を用いて水面と考えられる色の部分だけを抽出し、それ以外をマスキングし除外することで、水面部のみRGB値を残す。
- 5) RGB値をグレースケール値に変換する。  
グレースケール画像で水面と壁面の違いをより強調するため、ヒストグラム平坦化処理をする(図-2の画像(b))。画像(b)、(c)はグレースケール画像だが、見やすさのためにカラーマップを用いて着色している)。  
夜間など暗い画像では、画像中の色の値がヒストグラムの狭い範囲に偏るが、このヒストグラムの両端を伸ばすことで、同じ色に見えていた部分の差を際立たせ、画像を改善することができる。ヒストグラム平坦化処理にはOpenCVのCLAHEを用いた<sup>9)</sup>。
- 6) 水面検出性能に影響する量水標の目盛や周辺の構造物の細かい色の除去するため、平均化処理をする(図-2の画像(c))。  
平均化処理とは各座標の値を周囲の座標の値の平均値で置き換える処理であり、画像のノイズ除去に利用される。平均化処理にはOpenCVのBlurを用いた<sup>9)</sup>。
- 7) 6)までの処理を行った画像について、画像の幅方向にグレースケール値を合算し、1次元データ化する。水面と壁面は基本的には色が異なるため、幅方向に合算することで、水面部分と壁面部分の対比を強めることが期待できる。
- 8) 1次元データのグレースケール値の最大値を1として規格化する。  
これにより、明るさが大きく異なる画像に対しても共通のしきい値で水面部分と壁面部分を分離することができる。
- 9) 8)までの処理を行った1次元グレースケールデータを、縦軸y座標(上を原点)、横軸グレースケール値としてプロットする(図-2のグラフ)。
- 10) y座標の0から調べていき、グレースケール値がしきい値の線分と初めて交わるときのy座標の値を、水面位置とする。
- 11) この水面位置の値を図-1(c)の回帰曲線の式に代入することで、推定水位(単位:m)が得られる。

この水面検出・水位推定プログラムについてユーザが行う作業は、プログラムの起動のみであり、作業負担は小さい。

### 3. 動作確認試験

室内および既設の樋門で撮影した動画を用いて、作成したプログラムの動作確認を行った。

#### (1) 室内試験

室内試験の概略図を図-3に示す。透明な円筒容器に量水標に見立てた定規を取り付け、色を付けた水をゆっくりと注水する。この様子を固定したスマートフォンのカメラで撮影した。解析に使用した動画は、縦1920pixel、横1080pixel、フレームレートは29.86fpsである。図-4に円筒容器内の水位変化の様子を示す。

次にこの動画に作成したプログラムを適用し、水位推定を行った結果を図-5に示す。図-5左側のグラフは横軸が時間、縦軸が定規の実際の見盛（単位：cm）、プロットは推定水位（単位：cm）の変化を表しており、右側の画像が同時刻（80秒）における元画像である。

グラフの0～3秒付近で13～14cmなど大きな値になっているが、これは液体の赤い色を水面と検出するようにHSVの上下限範囲を設定していることにより、まだ注水が始まっていない0～3秒の間、定規の赤い目盛を検出したためである。また、3～20秒は注水を始めた時間帯であるが、赤茶色の水の色が透明の容器に反射したのを検出したことにより1～2cm付近で推定水位が上下動している。26秒以降は水位が単調に増加していく様子をつまえることができた。これは水深が深くなるにつれ色の濃い部分とそうでない部分が明瞭に分離できるようになったためである。

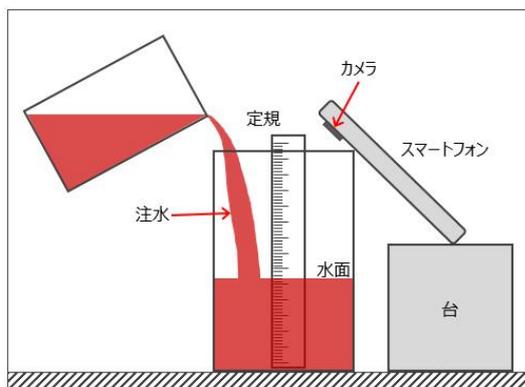


図-3 室内試験概略図

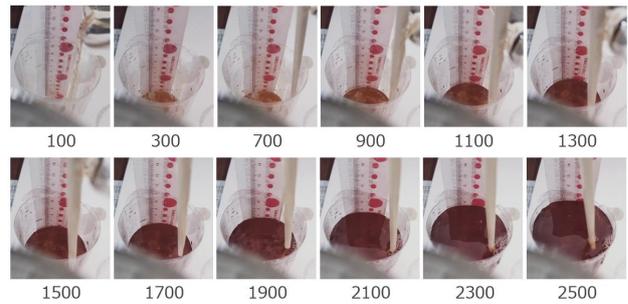


図-4 円筒容器内の水位変化

(各画像の下の数値はフレーム番号を表す)

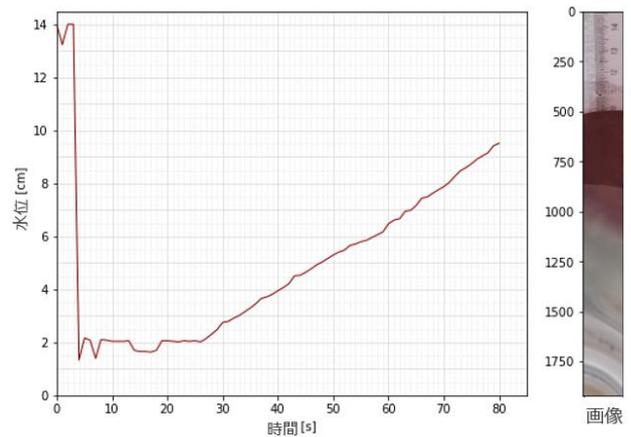


図-5 推定水位の変化と同時刻における元画像

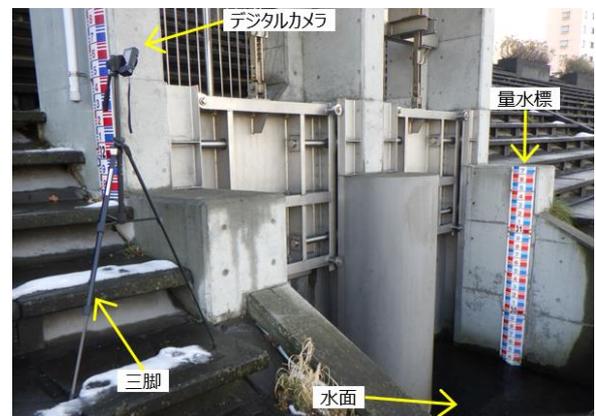


図-6 撮影状況



(a) 10時のデータ (b) 16時のデータ (c) 16時のデータ (明るさ、コントラスト調整後)

図-7 解析に使用した動画から抽出した静止画

## (2) 既設の樋門の量水標への適用

屋外で撮影される動画は、明るさや色が時間的に変化する。これに対応するため水面の色検出に用いるHSV値のしきい値を自動的に更新するプログラムを作成したが、処理する画像のHSV値がしきい値をわずかに超えると水面を正常に検出できなくなる状況が生じた。この部分については改善の余地があるため、本稿では2. (2)の3)と4)の処理を除外しHSVを使用しない処理を行った結果について述べる。

実際の樋門に設置されている量水標について、検出性能への明るさの影響を比較するため、朝と夕方に撮影した動画について水位推定処理を行った。撮影日は2023年11月28日、撮影時刻は朝10:06（以下、「10時のデータ」という）、夕方16:30（以下、「16時のデータ」という）、天気は朝は晴れ、夕方は雨であった。図-6のように三脚

を使用し、斜め上方向から量水標を撮影できるようにカメラを設置した。カメラから量水標までの距離はレーザー距離計により測定し約5.5mであった。朝夕で三脚を設置し直しているため、撮影範囲は完全には一致しない。

図-7に解析に使用した動画から抽出した静止画を示す。図-7 (a)と図-7 (b)はほぼ同じ範囲を撮影しているが、16時のデータである(b)は全体的に黒く見えている。(c)は(b)をMicrosoft PowerPointの画像修正機能で明るさを+40%、コントラストを-40%とした画像である。16時のデータの撮影時、デジタルカメラのディスプレイ上では量水標が認識できる程度に見えており、撮影時の暗さは主観的には画像(c)程度であった。これらの画像に作成したプログラムを適用した。解析に使用した動画は、縦1920pixel、横1080pixel、フレームレートは29.97fpsである。

処理結果を図-8に示す。読み込んだ動画に対し1秒ご

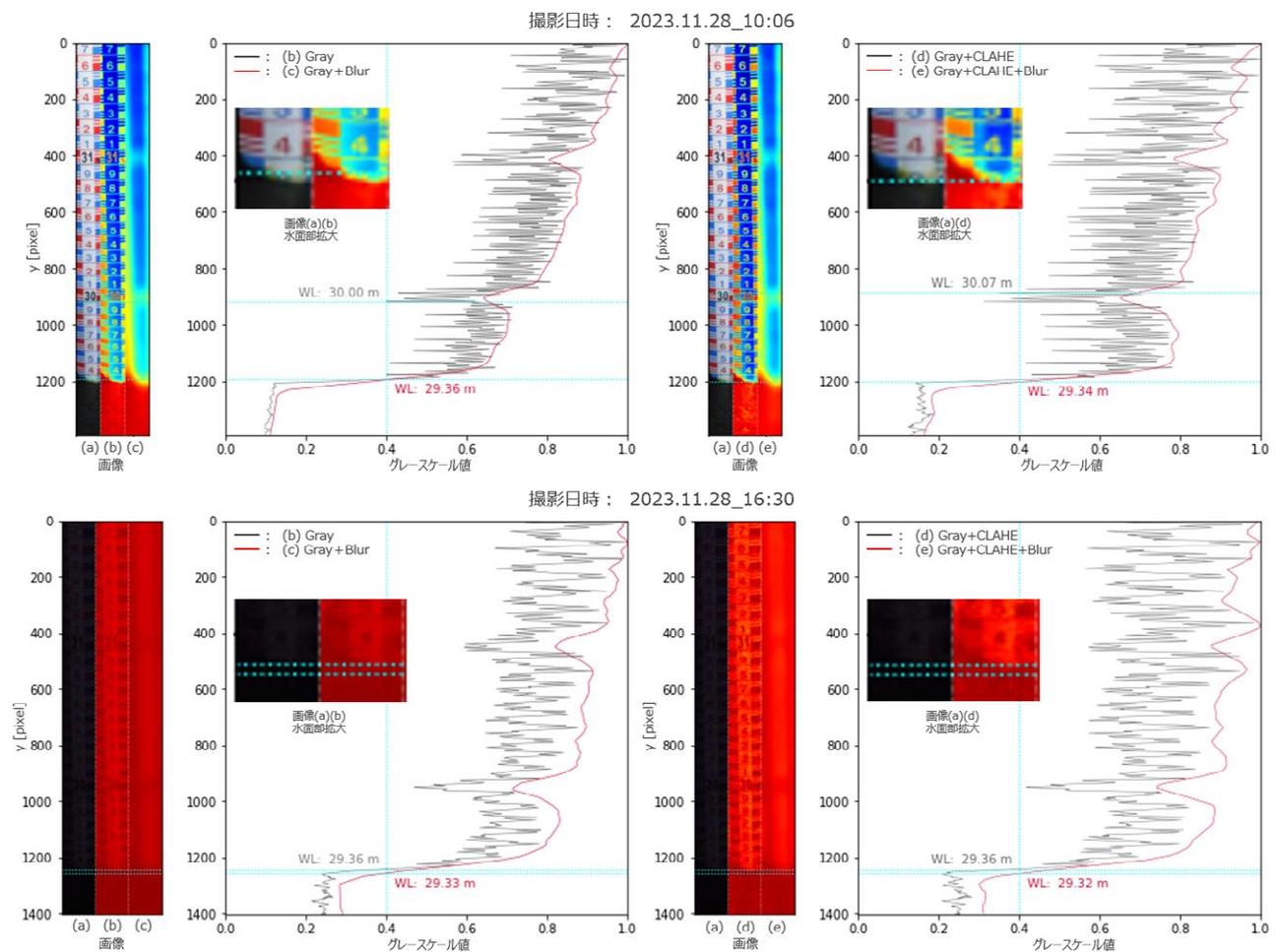


図-8 既設樋門撮影動画を用いた水面検出

- ・ 上段：10時のデータ、下段：16時のデータ
- ・ 画像(a)：元画像。
- ・ 画像(b)：画像(a)をグレースケールに変換したもの。
- ・ 画像(c)：画像(b)に平均化処理(Blur)をしたもの。
- ・ 画像(d)：画像(a)にヒストグラム平坦化処理(CLAHE)をしたもの。画像(e)：画像(d)に平均化処理(Blur)をしたもの
- ・ グラフ：画像(b)～(e)をそれぞれ幅方向に合算し1次元化したグレースケール値をプロット。縦方向の水色点線はグレースケール値のしきい値、水平方向の水色点線は水面位置、数値は推定水位を表す。

とに処理が行われるが、ここでは10時および16時の各データから1フレームずつ抽出し、例示する。上段が10時のデータ、下段が16時のデータを処理した結果、左右のデータの違いはヒストグラム平坦化処理の有無（左：無し、右：有り）である。

まず画像について着目する。画像(b)~(e)はグレースケール画像であるが、明暗の違い見やすくするためカラーマップを使用して着色した。画像(b)~(e)について、10時と16時のデータを比較すると、10時のデータの方が青から赤まで広く変化しており、光度の差が大きいことを表している。画像(d)は画像(b)にヒストグラム平坦化処理をした画像であり、10時、16時のデータとも濃淡が強められていることがわかる。画像(c)は画像(b)を、画像(e)は画像(d)を平均化処理したものである。画像(c)、(e)から、量水標の目盛や数字、水面の細かい波の模様などを消すことができていることがわかる。

次にグラフに着目する。これらのグラフはグレースケール画像(b)~(e)の各画像について、幅方向にグレースケール値を合算して一次元データ化し、プロットしたものである。図中の黒い実線は平滑化処理前である(b)、(d)のデータ、赤い実線は平滑化処理後である(c)、(e)のデータのプロットである。上段と下段を比較すると、画像では見た目が大きく異なるが、規格化しているグレースケール値のグラフでは上下段とも似通った傾向を示しており、水面と水面以外の部分のグレースケール値の差も同程度にすることができていることがわかる。

(b)、(d)のプロット（黒い実線）は量水標の目盛や数字などの模様に対応しており、変動が大きい。上段の(b)や(d)のプロットでは、量水標の「30」という文字付近でグレースケールのしきい値0.4を下回り、このため推定水位も30.00m、30.07mを示している。一方で、平均化処理後の(c)、(e)のプロットを見ると、(b)、(d)のプロットと比較して変動が非常に少なく、振幅も小さいため、量水標の目盛の数値等の影響を受けにくくなっている。

次に水位推定精度に着目する。各グラフの左上方に画像(a)、(b)、(d)の水面部分の拡大画像を示す。上段の画像(a)から水位は29.34~29.35mと読み取ることができ、プロット(e)から推定された29.34mが正しい値を示した。下段の16時のデータでは画像(a)、(b)、(d)から目盛を読み取ることは難しいが、上下段の画像(d)の比較から正しく推定できていると考える。

実際の河川のデータでは水位がほぼ変動しない。そこで水位変動に伴う水位推定精度を確認するため、室内実験のデータに改良したプログラムを適用した。なお、容器への注水の際、水勢により容器が揺れることがあったため、ここでの精度は参考程度とする。図-9にプログラムによる水位推定値と著者が同時刻の画像から水位を目視により読み取った値の比較を示す。上段の差のプロットから誤差は2.5mm程度であった。

なお、図-5に掲載した水位推定値の時間変化と比較し

て、同時刻における水位が2 mm程度高くなっているが、プログラム改良としきい値の変更によるものである。

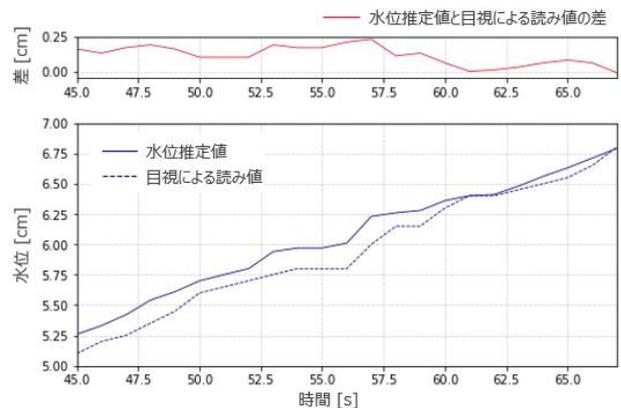


図-9 水位推定値と目視による読み値の比較

#### 4. 考察

本手法は、一次元化したグレースケール値についてy座標の0から調べていき、グレースケール値がしきい値の線分と初めて交わるときのy座標の値を、水面位置として検知する。このため正しい推定水位を出力するには、水面と壁面（水面以外の領域）の分離に有利な処理パターンの選定および適切なしきい値の設定が重要である。以下では、前節で示した処理パターンの評価を行い、適切なしきい値について考察する。

図-8のグラフでは、グレースケール値のしきい値を0.4に設定し水位推定を行った。これは平均化処理を行っていない黒い実線のデータによっても水位推定をすることを考えたためであるが、水面と考えられる値と壁面（水面以外の領域）と考えられる値の間をしきい値として定めることができれば、最も安定した分離を行えると考えられる。そこで図-8の各グラフについて、水面と考えられる範囲における最大値（以下、「水面最大値」という）、壁面と考えられる範囲における最小値（以下、「壁面最小値」という）を抽出した。

結果を表-1に示す。処理パターン(a)~(d)は図-8と共通であり、上段は10時のデータ、中段は16時のデータ、「差」は壁面最小値と水面最大値との差、「平均値」は壁面最小値と水面最大値の平均である。「差」が大きいほど分離性能が高く、「平均値」はしきい値検討の目安となる。下段は、10時のデータの「差」から16時のデータ「差」を引いた値である。

まず、10時のデータおよび16時のデータについて「差」を見てみると、平均化処理をした(c)、(e)が(b)、(d)に対し1.8~3.6倍の高い値を示している。これは平均化処理により画像中の細かい模様などの情報を弱めているためで、水面と壁面の違いだけに注目したい本手法では

平均化が重要であると言える。次に、平均化処理をした(c)、(e)について、ヒストグラム平坦化処理の有無を比較する。最下段(10時のデータ-16時のデータ)について、「差」の値を見ると、(c) 0.087、(e) 0.044となっており、(e)の方が時間的な明暗の変化に対して変動が小さいことを示している。これは明暗の差が小さい画像を鮮明化するヒストグラム平坦化処理の効果によるものである。図-8は動画の中の1フレームについての解析結果であり、また、深夜のさらに暗い時間のデータ等について検証していないことから、(c)と(e)の優劣については判断できない。しかし、3.(2)で述べたとおり、水位推定精度はヒストグラム平坦化処理をした(e)が最も実際に近い値を示しており、これは解析に使用した動画の他の時間についても同じ傾向であった。このことから、水位推定精度まで考慮に入れると、現時点では、ヒストグラム平坦化処理と平均化処理を行う処理パターン(e)が優位と考える。

次に(c)、(e)の平均値を見ると、10時のデータでは0.4程度、16時のデータでは0.5程度となっていることから、しきい値を0.4~0.5に設定することで安定した水面と壁面の分離が行えると考える。

表-1 グレースケール値の壁面最小値と水面最大値

10時のデータ				
グレースケール値				
処理パターン	(b)	(c)	(d)	(e)
壁面最小値	0.400	0.642	0.313	0.651
水面最大値	0.123	0.132	0.186	0.186
差	0.277	0.510	0.127	0.465
平均値	0.262	0.387	0.250	0.419

16時のデータ				
グレースケール値				
処理パターン	(b)	(c)	(d)	(e)
壁面最小値	0.472	0.714	0.420	0.740
水面最大値	0.273	0.291	0.280	0.319
差	0.199	0.423	0.140	0.421
平均値	0.373	0.503	0.350	0.530

10時のデータ - 16時のデータ				
処理パターン	(b)	(c)	(d)	(e)
差	0.078	0.087	-0.013	0.044

## 5. まとめ

デジタルカメラ映像の画像解析による水位推定手法を

作成し、以下の結果を得た。

- ・グレースケール画像を1次元データ化することで、水面と壁面を分離し、水位を推定できる。
- ・平均化処理を行い、しきい値を0.4~0.5に設定することで水面と壁面をよく分離できる可能性がある。
- ・ヒストグラム平坦化処理と平均化処理を行った場合、水面と壁面の分離および水位推定精度の向上に有利である。

また、本手法の利点は以下のとおりである。

- ・簡易かつ安価な機器構成、仕組みで動作する。
- ・設定作業は初回使用時の「画像上のクリック7回」と「量水標目盛の数値入力5回」のみであり2分程度で実施でき、ユーザの作業負担は小さい。
- ・一度設定を行えば、カメラ位置が変化しない限り水位推定を継続できる。

今後は以下の検証、改良を行う予定である。

- ・長時間の動画による光度等の時間変化、水面の結氷等異なる環境条件における適応性の確認
- ・水位推定精度の検証と必要なカメラ性能の検討
- ・WebカメラによるPCへの常時動画入力によるリアルタイム処理
- ・推定水位データを提供する手段の検討

光度、精度、カメラ性能については、CCTVカメラ等を活用した水位観測の手引き<sup>2)</sup>に推奨値等の記載があるため、これらを参考にしつつ様々な条件において検証を行う。

これらの検討を進め、作業安全性の向上や苦渋性の軽減に寄与したい。

## 参考文献

- 1) 危機管理型水位計に関するポータルサイト：危機管理型水位計のカタログ，<http://www.river.or.jp/riverwaterlevels/>.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課河川情報企画室：CCTVカメラ等を活用した水観測の手引き（試行版），2018，pp. 11-42.
- 3) 前原，長瀬，平：濁水位時の量水板画像を利用したCCTVカメラ映像からの水位計測方法，写真測量とリモートセンシング VOL. 55, NO. 1, 2016, pp. 66-68.
- 4) 青山，高木，辻川，斎藤，米丘：水位計測方法および水位計測システム，特開2001-133311，2001-05-18.
- 5) OpenCV: Histogram Equalization, [https://docs.opencv.org/4.x/d5/daf/tutorial\\_py\\_histogram\\_equalization.html](https://docs.opencv.org/4.x/d5/daf/tutorial_py_histogram_equalization.html).
- 6) OpenCV: Smoothing Images, [https://docs.opencv.org/4.x/d4/d13/tutorial\\_py\\_filtering.html](https://docs.opencv.org/4.x/d4/d13/tutorial_py_filtering.html).